



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos fakultetas

Aplinkos inžinerijos institutas

**Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai  
skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai**

Baigiamasis magistro studijų projektas

---

**Ugnė Kustaitė**

Projekto autorė

**Doc. Dr. Irina Kliopova**

Vadovė

---

**Kaunas, 2019**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Aplinkos inžinerijos institutas

**Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai  
skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai**

Baigiamasis magistro studijų projektas

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

---

**Ugnė Kustaitė**

Projekto autorė

**Doc. dr Irina Kliopova**

Vadovė

**Prof. dr. Jolita Kruopienė**

Recenzentė

---

**Kaunas, 2019**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Aplinkos inžinerijos institutas  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Ugnė Kustaitė

(Studento vardas, pavardė)

Darnus valdymas ir gamyba (6213EX001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 19 m. gegužės 31 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ugnės Kustaitės**, baigiamasis projektas tema „Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Aplinkos inžinerijos institutas

Projekto tema **Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai**

Reikalavimai ir sąlygos (tikslinti pavadinimą pagal poreikį)

Temos problematika susieta su nuolat didėjančiu žemės ūkio atliekų kiekiu (tik Lietuvoje kasmet susidaro iki 4 mln. t žemės ūkio atliekų, kurių didžioji dalis – ŠGP), šių atliekų esamais tvarkymo metodais (pagrindė – sandėliavimas mėšlidėse ir laukų tręšimas), kurie daro labai didelį neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Šiuo metu Lietuvoje tik pradama tinkamai biologiškai apdoroti žemės ūkio atliekas. Tai reikalauja kompetencijos, investicijų į infrastruktūrą, kt. Poveikis aplinkai biologiškai apdorojant žemės ūkio atliekas (BSA) ir pagaminto komposto kaip trąšos vertė priklauso nuo pačių BSA ir jų mišinio su kitais BSA sudėties, nuo taikomų apdorojimo technologijų, nuo klimato sąlygų.

Atliekant tyrimą, studentas turi skirti ypatingą dėmesį žemės ūkyje susidariusioms BSA, įsk. ŠGP, jų valdymui plačiausiai naudojamiems metodams ir problematikai (dėl didėjančio poveikio aplinkai ir rizikos dėl nesaugių produktų gamybos); naujų metodų pritaikymo galimybėms Lietuvos žemės ūkyje ir jų įvykdomumo analizei.

Tyrimo metu turi būti atliktas kompostavimo eksperimentas: aerobiškai apdorojant gyvulininkystės BSA (1) tradiciniu būdu ir (2) naudojant probiotines medžiagas (mikrobiologinius preparatus). Būtina atlikti eksperimento metu gautų duomenų (technologinių procesų, pagaminto komposto kokybės parametrų) lyginamąją analizę. Apibendrinti rezultatai turi būti pateikti rekomendacijose gyvulininkystės objektams dėl BSA kompostavimo, tikslu mažinant poveikį aplinkai tvarkant atliekas ir trešimui naudojant iš atliekų pagamintą produktą - kompostą.

Vadovas / Vadovė

doc. dr. Irina Kliopova

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Kustaitė Ugnė. Probiotinių medžiagų naudojimas mažinant žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo procesų poveikį aplinkai.

Magistro studijų baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Aplinkos inžinerija (E03) – pagrindinė, Gamybos inžinerija (E10), Verslas (L01), Inžinerijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: žemės ūkis, biologiškai skaidžios atliekos (BSA), biologinis apdorojimas, kompostavimas, probiotikai, oro tarša, komposto kokybės parametrai.

Kaunas, 2019. 58 p.

### **Santrauka**

Nuolatinis žemės ūkio atliekų didėjimas, kelia didelį susirūpinimą dėl tinkamo atliekų tvarkymo ūkiuose. Šiuo metu Lietuvoje žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų (BSA) tvarkymo metodai (pagrindė – sandėliavimas mėšlidėse ir laukų tręšimas (iki 78 proc.)) daro labai didelį neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai: pavyzdžiui, poveikis oro kokybei dėl oro teršalų, poveikis klimato kaitai dėl šilumos efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išsiskyrimo į aplinkos orą, aplinkinių gyventojų ir darbuotojų diskomfortas dėl nemalonių kvapų, parazitologinė/ mikrobiologinė tarša, dirvožemio ir gruntinių vandenų tarša nitratais ir kiti veiksniai.

Darbo tikslu buvo išanalizuoti poveikio aplinkai mažinimą biologiškai apdorojant gyvulininkystės kompleksų ir kitų žemės ūkio BSA, ypatingą dėmesį skiriant probiotinių medžiagų (mikrobiologinių preparatų) naudojimo žemės ūkyje galimybėms, optimizuojant BSA tvarkymą, mažinant poveikį aplinkai, gerinant gaminamo komposto kokybę.

Tyrimo metu atliktas eksperimentas, kompostuojant galvinių ūkio BSA tradiciniu būdu bei naudojant probiotines medžiagas SCD Odor Away. Tyrimo rezultatai parodė, kad šiuo metu eksperimentui parinktame ūkyje esamas BSA tvarkymo būdas (laikymas mėšlidėje ir laukų tręšimas) kelia didelį neigiamą poveikį aplinkai dėl oro taršos ir ŠESD išmetimų. Tvarkant BSA, iš ūkio stacionarių ir mobilių taršos šaltinių kasmet susidaro iki 3,8 t oro teršalų (NH<sub>3</sub>, NMLOJ, NO<sub>x</sub>, KD, CO), ŠESD – virš 200 t. Kai susidarancios žemės ūkio BSA yra kompostuojamos, oro tarša sumažėja 92,9 proc., o ŠESD – 96,88 proc.. Atliekant eksperimentą ir matuojant NH<sub>3</sub> emisijas, nustatyta, kad žemės ūkio BSA kompostavimui naudojant probiotines medžiagas, minėtų oro teršalų emisijos sumažėja 97,5 proc., o ŠESD – 96,88 proc., lyginat su esamu BSA tvarkymo būdu.

Darbe patekti eksperimento rezultatai, kompostavimo alternatyvų įvykdomumo analizė, taip pat rekomendacijos žemės ūkio gyvulininkystės objektams dėl BSA kompostavimo, mažinant poveikį aplinkai, žmonių sveikatai ir didinant gaminamo komposto vertingumą.

Kustaite Ugne. Use of Probiotics to Reduce Environmental Impact of Biological Processes of Agricultural Biodegradable Waste. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Irina Kliopova; Faculty of mechanical engineering and design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Environmental Engineering (E03) – main study field, Production and Manufacturing Engineering (E10), Business (L01), Engineering Sciences.

Keywords: farming, biodegradable waste (BDW), biological treatment, composting, probiotic substances, air emissions, compost quality indicators

Kaunas, 2019. 58 p.

### **Summary**

The continuous growth of agricultural waste is a serious problem for the proper waste management on farms. Currently, widely used biodegradable waste (BDW) management methods in Lithuania (mainly, manure storage and fertilizer in the field (up to 78%)) have a very negative on the environment impact and human health, for example, on air quality due to air pollutants, impact on climate change due greenhouse gas (GHG) emissions, discomfort of the surrounding population and workers due to odors, parasitological / microbiological pollution, soil and groundwater pollution with nitrates, etc.

The aim of the work was to analyze the environmental impact reduction by biological treatment of BDW from livestock farms and other agricultural BDA, focusing on the possibilities of using probiotic substances (microbiological preparations) in agriculture, so optimizing BDA management, reducing the environmental impact, improving the quality of produced compost.

An experiment was conducted during the study: composting of the cattle breeding BDW by tradition method and using probiotic substances SCD Odor Away was carried out and compared. The results of the study show that the current waste management method (manure storage and field fertilization) has a significant negative environment impact due to air pollution and GHGs. During this BDW management method air pollutants (NH<sub>3</sub>, NMML, NO<sub>x</sub>, KD, CO) from farms' stationary and mobile sources are up to 3.8 tonnes per year, GHGs - over 200 tonnes per year. When agricultural BDW are composted, air pollution decreases by 92.9% and GHGs - by 96.88%. During the experiment , measurements of concentration of NH<sub>3</sub> emissions were made, it was determined that the use of probiotic substances for manure composting with other agricultural BDW reduces the emissions of these air pollutants by 97.5% and GHGs - by 96.88% compared to existing waste management.

The results of the experiment, the feasibility analysis of composting alternatives, as well as recommendations for agricultural livestock objects due to BSA composting, reducing environmental impact, human health and increasing the value of the compost produced, are included.

## Turinys

Lentelių sąrašas .....	8
Paveikslų sąrašas .....	9
Santrumpų sąrašas .....	10
IVADAS.....	11
1. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ .....	13
1.1. Biologiškai skaidžių atliekų susidarymas žemės ūkyje.....	13
1.2. Taikomi teisiniai reikalavimai žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui.....	15
1.3. Biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo metodai.....	19
1.4. Plačiausiai taikomi žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų valdymo metodai .....	23
1.5. Poveikis oro kokybei dėl žemės ūkyje susidarantių teršalų, tvarkant biologiškai skaidžias atliekas.....	26
1.6. Poveikis klimato kaitai dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo žemės ūkyje tvarkant biologiškai skaidžias atliekas.....	27
1.7. Žemės ūkyje gaminamų kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai.....	28
1.8. Kompostavimo darbams reikalingi mechanizmai ir technika.....	31
2. DARBO METODIKA.....	33
2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas.....	33
2.2. Eksperimentui parinkto žemės ūkio objekto charakteristika.....	34
2.3. Žemės ūkio objekte susidariusių biologiškai skaidžių atliekų kiekio vertinimas.....	34
2.4. Darbe taikomos metodikos įvertinti oro teršalus ir šiltnamio efektą sukeliančias dujas biologiškai apdorojant žemės ūkio atliekas.....	35
2.5. Eksperimentui naudojama įranga, medžiagos.....	38
2.6. Žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo proceso medžiagų ir energijos srautai.....	38
2.7. Kompostavimo technologinių parametrų ir gaminamo komposto kokybės ir užterštumo nustatymas.....	39
2.8. Pagamintų kompostų ėminių paėmimas, mėginių formavimas.....	40
3. TYRIMO REZULTATAI, ANALIZĖ IR APIBENDRINIMAS.....	42
3.1. Eksperimentui parinkto žemės ūkio objekto biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo poveikio aplinkai vertinimo rezultatai.....	42
3.2. Kompostavimo eksperimento eiga, rezultatų analizė ir išvados.....	43
3.3. Kompostavimo alternatyvų įvykdomumo analizė.....	47
4. Rekomendacijos žemės ūkio gyvulininkystės objektams dėl BSA kompostavimo .....	52
Išvados.....	53
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	54
Priedai.....	58

## Lentelių sąrašas

1.1. lentelė. 2016 metais Lietuvoje žemės ūkyje susidariusių atliekų kiekis.....	13
1.2 lentelė. Žaliavų (iš BSA) biodujoms gaminti šaltiniai .....	23
1.3 lentelė. Idealios kompostavimo sąlygos skirtingų kompostavimo fazių metu.....	25
1.4 lentelė. Žemės ūkio BSA apdorojimo metu susidariusių oro teršalų emisijų faktoriai.....	26
1.5 lentelė. ŠESD susidarymas, apdorojant žemės ūkio BSA, kg/t BSA objektai.....	28
1.6 lentelė. BSA apdorojimo įrenginių, ėminių objektai.....	29
1.7 lentelė. Tirtų Lietuvoje pagamintų mėšlo kompostų ir mėšlo raugų kokybės rodiklių vertės ir medianos.....	30
2.1 lentelė. susidarančių biologiškai skaidžių atliekų kiekis ir tūris.....	35
2.2 lentelė. Teršalų emisijų faktoriai kg/m. vienam gyvūnui .....	36
2.3 lentelė. Bendras N kiekis kg, kompostuojant 1 kg žemės ūkio.....	36
2.4 lentelė. Oro teršalai, kompostuojant BSA, kg / t BSA.....	36
2.5 lentelė. Oro teršalų emisijų faktoriai, vidaus degimo varikliuose deginant kurą.....	37
3.1 lentelė. BSA kiekio ir tūrio eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje įvertinimas, vnt. per metus.....	42
3.2 lentelė. Kompostų kaupų parametrų matavimų duomenys.....	45
3.3 lentelė. Eksperimente pagamintų pirminių kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai.....	45
3.4 lentelė. Kompostavimo eksperimento metu gautų stebimų pagrindinių parametrų lyginamoji analizė.....	46
3.5 lentelė. Pirmos BSA kompostavimo alternatyvos aplinkos apsaugos efekto vertinimas.....	48
3.6 lentelė. Antros BSA kompostavimo alternatyvos aplinkos apsaugos efekto vertinimas.....	50



## Paveikslų sąrašas

1.1 pav. ŠESD susidarymas įvairiai tvarkant žemės ūkio BSA, kg/t .....	28
2.1 pav. Magistro baigiamojo projekto atliekamų tyrimų algoritmas ir taikomi metodai.....	33
2.2 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje kompostavimo eksperimento pravedimo metu: 2019 m. kovo (kairėje) ir balandžio (dešinėje) mėnesiais.....	34
2.3 pav. Kompostavimo procesų medžiagų ir energijos srautų balanso sudarymo forma.....	39
2.4 pav. Naudotas hidrometras - termometras.....	40
2.5 pav. Dujų analizatorius „MX6 iBrid“ .....	40
3.1 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių BSA tvarkymo proceso medžiagų ir energijos srautų balansas.....	43
3.2 pav. Eksperimento metu formuojamų kaupų parametrai.....	44
3.3 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių BSA siūlomo kompostavimo proceso medžiagų ir energijos srautų balansas.....	47
3.4 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių BSA siūlomo kompostavimo proceso naudojant probiotines medžiagas medžiagų ir energijos srautų balansas.....	49

## Santrumpų sąrašas

AAI – aplinkos apsaugos indikatorius;  
BSA - biologiškai skaidžios atliekos;  
DLK – didžiausia leistina koncentracija;  
EF – emisijų faktorius;  
HN – higienos normos;  
IPCC – tarpvvyriausybinė klimato kaitos komisija (Intergovernment Panel on Climate Change);  
KD – kietosios dalelės;  
NDM – natūralaus drėgnio medžiaga;  
NMLOJ – ne metalo lakieji organiniai junginiai;  
MK – mėšlo kompostas;  
MR– mėšlo raugas;  
LAMMC - Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras  
OM – organinė medžiaga;  
RV – ribinė vertė;  
SG – sąlyginis gyvūnas;  
SM – sausoji medžiaga;  
ŠG – švaresnė gamyba;  
ŠGP – šalutiniai gyvūniniai produktai;  
ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos;  
ŽA – žaliosios atliekos;  
ŽAK – žaliųjų atliekų kompostas.

## IVADAS

Mokslinės ir praktinės literatūros analizės rezultatai parodė, kad: pastebimas nuolatinis žemės ūkio atliekų kiekio didėjimas. Pavyzdžiui tik Lietuvoje kasmet susidaro apie 4 mln. tonų žemės ūkio atliekų, iš kurių didžioji dalis- šalutiniai gyvūniniai produktai.

Šiuo metu Lietuvoje žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo metodai (pagrinde sandėliavimas mėšlidėse ir laukų tręšimas (iki 78 proc. )) daro labai didelį neigiamą poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai: pavyzdžiui, poveikis oro kokybei dėl oro teršalų, poveikis klimato kaitai dėl šilumos efektą sukeliančių dujų (ŠESD) išsiskyrimo į aplinkos orą diskomfortas dėl nemalonių kvapų, parazitologinė/ mikrobiologinė tarša, dirvožemio ir gruntinių vandenų tarša nitratais ir kiti veiksniai.

Šiuo metu Lietuvoje tik pradama tinkamai biologiškai apdoroti žemės ūkio BSA, kas skatina ieškoti ir išbandyti naujus BSA tvarkymo metodus. Tinkamas BSA tvarkymas reikalauja tam tikros kompetencijos, investicijų į infrastruktūrą ir kt.

Poveikis aplinkai biologiškai apdorojant žemės ūkio BSA ir pagaminto komposto kaip trąšos vertė priklauso nuo pačių BSA ir jų mišinio su kitomis BSA sudėtimis, taip pat nuo taikomų apdorojimo metodų, klimato sąlygų ir kt.

Šiame darbe didelis dėmesys skiriamas:

- žemės ūkyje susidariusioms BSA, įskaitant ŠGP;
- jų valdymui plačiausiai naudojamiems metodams ir problematikai (dėl didėjančio poveikio aplinkai ir rizikos dėl nesaugių produktų gamybos);
- naujų tvarkymo metodų pritaikymo galimybėms Lietuvos žemės ūkyje ir jų įvykdomumo analizei.

Šiuo metu Lietuvoje nėra mokslinės informacijos apie žemės ūkio BSA tvarkymo metodus, naudojant probiotines medžiagas.

**Darbo tikslas:** Išanalizuoti probiotinių medžiagų (*mikrobiologinių preparatų*) naudojimo žemės ūkyje galimybes Lietuvoje, optimizuojant BSA tvarkymą, mažinant poveikį aplinkai.

*Eksperimentas atliekamas gyvulininkystės komplekse (karvių auginimo), kompostuojant susidariusias BSA su šiaudais (1) ir su mikrobiologiniais preparatais (2).*

### **Uždaviniai:**

1. Išanalizuoti plačiausiai taikomus žemės ūkio BSA biologinio tvarkymo metodus, reikalavimus iš BSA gaminamiems produktams bei identifikuoti problematiką;
2. Atlikti analizę naujausių mokslinių metodų, optimizuojant žemės ūkio BSA tvarkymą, ypatingą dėmesį skiriant naujoms biotechnologijoms;
3. Eksperimentui parinktame objekte įvertinti esamo BSA tvarkymo metodo poveikį aplinkai;
4. Atlikti probiotinių medžiagų naudojimo, kompostuojant žemės ūkio BSA, įvykdomumo analizę (techninį, aplinkosauginį vertinimą);
5. Pateikti rekomendacijas gyvulininkystės objektams dėl BSA kompostavimo, naudojant probiotines medžiagas.

Darbo mokslinis naujumas:

- kompostuojant gyvulininkystės BSA, palyginti su jų tradiciniu tvarkymu Lietuvoje (laikant mėšlidėje ir naudojant laukų trešimui), oro tarša ( $\text{NH}_3$ , NMLOJ, CO,  $\text{NO}_x$ , KD) sumažėja virš 90 proc., ŠESD kiekis – virš 95 proc.
- gyvulininkystės BSA kompostavimo procesui naudojant mikrobiologinį preparatą *SCD Odor Away*:
  - *eliminuojami blogi kvapai;*
  - *$\text{NH}_3$  išlakos sumažėja virš 87 proc.; todėl bendras oro teršalų sumažėjimas, palyginti su laikymu mėšlidėje, siekia virš 97 proc.;*
  - *mažėjant  $\text{NH}_3$  emisijoms, padidėja suminio azoto (N) kiekis pagamintame komposte: nuo 2,52% SM (kompostuojant be probiotikų) iki 3,28% SM (kompostuojant su probiotikais) (t.y. padidėja 31 proc.);*
  - *taip pat pagerėja kiti komposto kokybės rodikliai: suminio fosforo kiekis padidėja nuo 0,88 iki 1,76 % SM, suminio kalio – nuo 3,7 iki 4,41 % SM;*
  - *kompostas pagaminamas per 2 mėnesius (biologinis skaidumas pagal ištirpusios organinės C koncentraciją buvo <4000 mg/ kg SM, t.y. gautas kompostas stabilus ir gali būti naudojamas trešimui).*

Šio darbo autorė reiškia nuoširdžią padėką:

- doc. dr. Irinai Kliopovai už visokeriopą pagalbą, padėšinimą ir vertingas pastabas;
- VšĮ aplinkos vadybos ir audito institutui „AVAI“, kurie suteikė eksperimentui reikiamas probiotines medžiagas ir matavimo įrangą, bei padėjo įgyvendinti eksperimento eigą.
- Galvijų ūkio, ūkininkų šeimai, kurie leido savo teritorijoje vykdyti eksperimentą, suteikė pagalbą formuojant kaupus, bei prižiūrint kompostavimo eigą.

## 1. INFORMACIJOS ŠALTINIŲ ANALIZĖ

### 1.1. Biologiškai skaidžių atliekų susidarymas žemės ūkyje

Atliekos – tai medžiaga, kurios turėtojas privalo ar ketina atsikratyti. Jos siejamos su galimai dideliais išteklių (tiek medžiagų, tiek energijos) nuostoliais. Taip pat atliekų šalinimas ir tvarkymas stipriai veikia aplinką. Šiuo metu didžiausias dėmesys skiriamas sumažinti susidarančių atliekų kiekį, jei atliekų išvengti neįmanoma, skatinama šias atliekas naudoti pakartotinai kaip išteklius, kuo daugiau jų skirti antriam naudojimui pasitelkiant perdirbimo procesą.

Šiuo atveju augantys ir sparčiai didėjantys žemdirbystės ir gyvulininkystės ūkiai didina gamtinių išteklių naudojimą, atitinkamai ir susidarančių atliekų kiekį, kas daro didelį neigiamą poveikį aplinkai. Pavyzdžiui, grubiai apskaičiuojant, pieno ūkyje laikomų karvių išskiriamų ekskrementų kiekis per parą sudaro iki 10 proc. viso karvės svorio. Žinoma ekskrementų kiekis priklauso ir nuo karvių maitinimo ypatybių.

Ūkiuose sukauptų biologiškai skaidžių atliekų (BSA) (mėšlo, srutų, šiaudų ir kitų atliekų) kiekį taip pat įtakoja: laikomų gyvulių rūšis, amžius, gyvūnų fiziologinė būklė, produktyvumas, šėrimo tipas ir ūkyje naudojamų pašarų kokybė, gyvulių laikymo technologija, pakratų rūšis ir kiekis, į mėšlą bei srutas patenkančio technologinio ir kritulių vandens kiekio ir kitų atliekų pašalinamų į mėšlides, kiekis (Vaičionis, 2013).

Remiantis Lietuvos statistikos duomenimis, per 2016 metų laikotarpį žemės ūkio srityje susidarė per 7,8 milijonus tonų įvairių atliekų. Vien mėšlo ir srutų kiekis siekė kiek daugiau nei 4,4 milijonus tonų. 1.1. lentelėje susisteminta informacija apie Lietuvoje žemės ūkyje 2016 m. susidariusių atliekų kiekį ir jų sutvarkymo būdus.

**1.1. lentelė.** 2016 metais Lietuvoje žemės ūkyje susidariusių atliekų kiekis [15]

Atlieka	Susidarė, tūkst. t/m.	Sutvarkyta, tūkst. t/m.					Liko metų pabaigoje, tūkst. t/m.
		deginant	perduodant atliekų tvarkytojams	perduodant kitiems vartotojams	naudojant ūkyje	šalinant ūkyje	
1	2	3	4	5	6	7	8
Šiaudai	3329,1	18,9	38,2	29,1	2799,5	403,3	40,1
Grūdų valymo atliekos	34,4	1	1,1	10,7	18,7	2,5	0,4
Gyvūnų audinių atliekos	3,6	0,1	2,7	0,7	0,1	0	0
Kritę, infekuoti gyvūnai	18,7	0,7	7,6	0	0	0,1	10,3
Mėšlas	3022,8	0	28,4	218,2	2259,6	311,1	205,5
Srutos	1422,4	0	40,6	2352	934,7	30,5	181,4
Kitos atliekos	7,5	0,7	5,9	0	0	0,1	0,8
<b>Iš viso</b>	<b>7838,5</b>	<b>21,4</b>	<b>124,5</b>	<b>2610,7</b>	<b>6012,6</b>	<b>747,6</b>	<b>438,5</b>

Žemės ūkyje susidariusių atliekų kiekis tikrai kelia didelį rūpestį dėl jų poveikio aplinkai. Kaip žinoma, ne visi žemės ūkio specialistai turi pakankamai patirties, kompetencijos ar išteklių tinkamam BSA tvarkymui, todėl ir kyla daug neigiamą poveikį darančių sprendimų.

Šiame darbe didžiausias dėmesys skiriamas gyvulininkystės ūkyje susidarančių mėšlo ir srutų atliekų tvarkymui ir jo optimizavimo galimybėms, mažinant poveikį aplinkai.

Mėšlas – su kraiku sumintos gyvulių išmatos (šlapimas), į jas patenkantys pašarų likučiai ir vanduo. Vidutiniškai per parą vienai melžiamai karvei, kurios produktyvumas svyruoja nuo 3000 iki 7000 kg pieno per metus, sukaupiamas tiršto mėšlo kiekis siekia 1,88 – 2,39 m<sup>3</sup> (Šileika, 2007). Tokie atliekų kiekiai susidaro tik iš karvių ekskrementų, ką jau kalbėti apie kitas ūkiuose susidarancias atliekas, tokias kaip: šiaudai, grūdų atliekos, gyvūnų audinių atliekos, kritę infekuoti gyvūnai, ir kt. Labai svarbu paminėti, kad gyvulininkystės ūkiuose susidaro ir gamybinės nuotekos. Žinoma, kad nuotekų kiekis iš pieno gamybos linijų atitinka karvių melžimo įrenginių plovimui sunaudojamo vandens kiekiui.

Mėšlą galima suskirstyti pagal tris kategorijas: konsistenciją, technologiją ir rūšį (Kantminas ir Kondrotas, 1969). Pagal konsistenciją mėšlas būna: tirštas, pusiau skystas, skystas. Pagal gyvulių laikymo technologiją: bekraikis, kraikinis. Pagal gyvulių rūšis mėšlas skirstomas į: galvijų, kiaulių, arklių, avių, ožkų, paukščių.

**Bekraikis mėšlas** – skystas, turintis tik iki 8-12 % sausųjų medžiagų (SM) mėšlas, nes jo susidaryme yra nenaudojami šiaudai.

*Teigiamos bekraikio mėšlo savybės [16]:*

- su mažiausiomis darbo sąnaudomis greitai pašalinamas iš tvarto;
- pumpuojamas išcentriniais siurbliais, todėl gali būti transportuojamas į laukus pigiausiu būdu - vamzdiniais;
- gali būti tiksliai normuojamas, nes prieš naudojimą lengva permaišyti, tuomet jis pasidaro vientisas;
- turi daugiau augalų pasisavinamų maisto medžiagų negu kraikinis mėšlas (per metus augalai gali pasisavinti iki 50 % azoto);
- gali būti naudojamas per visą augalų vegetacijos laikotarpį;
- pakanka vienos rūšies mėšlo skleidimo priemonių, nes kaupiamas vienoje mėšlidėje;
- tolygiai paskleidžiamas lauke;
- galima maksimaliai sumažinti azoto garavimą paskleidimo metu įterpiant į dirvą.

*Bekraikio mėšlo trūkumai:*

- skleidžia nemalonų kvapą mėšlidėje;
- reikia spręsti nepanaudotų šiaudų problemą ūkyje.

**Kraikinis mėšlas** – toks mėšlas, kuriame yra daugiau kaip 25 % sauso medžiagos (SM). Toks mėšlas sukrautas į 1,0 – 1,5 m aukščio krūvą neslenka.

*Kraikinio mėšlo teigiamos savybės [16]:*

- racionaliai panaudojami šiaudai ir kitoks kraikas;
- gerai kompostuojamas, t.y. natūraliai didėja temperatūra, todėl mažai lieka patogeninių bakterijų ir piktžolių sėklų;
- jį kaupiant, mažiau teršiamas oras kenksmingomis dujomis.

*Kraikinio mėšlo trūkumai (Šileika, 2001):*

- heterogeninis produktas;
- sunku tolygiai paskleisti laukuose;

- kaupiant atviroje mėšlidėje susidaro daug srutų, todėl mėšlui paskleisti reikia kraikinio mėšlo krautuvų, o srutomis paskleisti – srutų skleistuvų;
- sunkiau nustatyti maistinių medžiagų (azoto (N), fosforo (P), kalio (K)) kieki;
- augalai iš mėšlo sunkiau pasisavina azotą (per metus 20-25%);
- trumpai naudojamas – tik rudenį ir pavasarį.

**Srutos** – tai grynas gyvulių šlapimas ir, mėšlui pūvant, mėšlidėse atsiradusios skystos frakcijos. Priklausomai nuo mėšlo laikymo mėšlidėse susidaro nevienodas srutų kiekis. Mokslinių tyrimų duomenimis, mėšlo srutos sudaro 10 – 15 % neperpuvusio mėšlo masės, išskyrus tą dalį, kuri sorbuojama kraiko. Iš 10 t neperpuvusio kraikinio mėšlo per 4 mėn. išsiskiria 170 l, pusiau suminto – 450 l, palaido – 1000 l srutų. Kuo mėšle mažiau kraiko, tuo srutų susikaupia daugiau. Iš vieno galvijo per tvartinį laikotarpį (200-220 d.) susikaupia vidutiniškai apie 2 tonas srutų (Strusevičius, 1996).

Srutų susidarymui labai svarbūs aspektai: tinkamas karvių kasdienis kreikimo (šiaudų pakratų) kiekis didesnis nei 4 kilogramai melžiamai karvei ir daugiau nei 1,5 kilogramo veršeliui. Laikantis tokių rekomendacijų, srutų visai nebūna arba susidaro labai maži kiekiai, kuriuos galima lengviau kontroliuoti ir tvarkyti.

Azoto (N) ir kitų medžiagų kiekis srutose labai nevienodas ir priklauso nuo gyvulių rūšies, pašarų, o svarbiausia nuo srutų laikymo būdų. Tyrimais nustatyta, kad gerai laikomose srutose azoto būna iki 1 %, kalio (K) iki 1,2 % ir fosforo (P) 0,02 %. Vidutiniškai srutose yra 0,2-0,4 % azoto (N), fosforo (P) – 0,01-0,02 %, kalio (K) – 0,4-0,6 %. Organinių medžiagų (OM) srutose būna 0,6-1,4 % bendrosios masės (Strusevičius, 1996).

## **1.2. Taikomi teisiniai reikalavimai žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų tvarkymui**

Dauguma žemės ūkyje susidarančių organinių atliekų gali būti ir dažnai yra panaudojami pačiame ūkyje, įterpiant jas į dirvožemį, be sudėtingesnio jų perdirbimo ar kitokio apdorojimo. Žaliąsias atliekas (augalų liekanas) galima tvarkyti paprasčiausiu būdu, jas apiriant ir paliekant dirvoje. Ūkiuose susidarančios mėšlo ir srutų atliekos kaupiamos mėšlidėse ir po 6 mėnesių gali būti tiesiogiai naudojamos laukų tręšimui. Bet aplinkosaugos ir visuomenės sveikatos požiūriu žymiai saugiau mėšlo ir srutų atliekas, taip pat ir vandenvals įrenginiuose susidarantį nuotekų dumblą, įvairių maisto perdirbimo ar lengvosios pramonės šakų nepavojingas organines BSA (pvz.: aliejaus ar pieno produktų gamybos atliekas; popieriaus ir celiuliozės gamybos įmonių organines atliekas) prieš naudojant žemės ūkyje kaip organines trąšas apdoroti, pavyzdžiui, kompostuoti arba, visų pirma, fermentuoti ir kompostuoti gautąjį raugą, taip gaminant kompostą ar dirvožemio maistines savybes gerinančius priedus. Daugelį organinių atliekų tiesiogiai (ar perdirbus) galima naudoti ir kaip gyvūnų pašarus. Tokių organinių atliekų įterpimą į dirvą ar naudojimą pašarams ES ir Lietuvoje reglamentuoja aplinkosauginiai teisiniai dokumentai ir įvairios taisyklės.

**Mėšlo ir srutų** panaudojimą Lietuvoje reguliuoja Aplinkosaugos reikalavimai mėšlui ir srutomis tvarkyti, kurie pateikti LR aplinkos ministro ir LR žemės ūkio ministro 2005-07-14 įsakyme nr. D1-367/3D-342 „Dėl

mėšlo ir srūtų tvarkymo aplinkosaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“ (Žin., 2005 Nr. 92-3434; 2012 Nr. 134-6849; TAR 2014 Nr. 00042, 2018 Nr. 05764) [8].

Mėšlo ir srutų kaupimui taikomi pagrindiniai reikalavimai: šios atliekos iki 6 mėnesių laikomos prie tvarto, naudojant kaupučius, mėšlides, tiršto mėšlo rietuves; laikymo metu atliekos uždengiamos. Įrenginiai turi būti įrengti taip, kad jiems „neturi grėsti potvynių ar paviršinių vandenų užliejimo rizika“. Jei tvarte, kuriame laikomi gyvūnai, telpa per kaupimo laikotarpį (6 mėn.) susidarantis mėšlas, specialių įrenginių galima nediegti. Galimi atstumai tarp išvardintų įrenginių ir vandens telkinių, gyvenamųjų namų bei kitų jautriųjų vietų pateikti darbo 1 priede. Šie atstumai nustatyti statybos techninio reglamento STR 2.02.09:2005 „Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai“ 2 priede.

Tirštojo mėšlo laikymui lauke iki 6 mėn. taikomi šie reikalavimai: tirštas mėšlas laikomas rietuvėse laukuose, kur jis bus naudojamas tręšimui, išlakant kiek įmanoma didžiausią atstumą iki gyvenamosios ir visuomeninės paskirties objektų; rietuvės vieta niekada neturi būti apsemta vandens, turi būti apjuosta žemės pylimu (min. 20 cm aukščio); po rietuve turi būti suformuojamas durpių arba smulkintų šiaudų sluoksnis.

Mėšlo ir srutų naudojimo laukams tręšti reikalavimai: su mėšlu į dirvą turi patekti  $\leq 170$  kg/ha bendrojo azoto; **negalima** tręšti mėšlu ir srutomis laukus šiais periodais:

- jei tręšiama arčiau kaip 100 m iki gyvenamųjų namų: savaitgaliais, valstybinių švenčių dienomis;
- nepriklausomai nuo atstumo iki gyvenamųjų namų: nuo lapkričio 15 d. iki balandžio 1 d., nuo birželio 15 d. iki rugpjūčio 1 d.;
- „draudžiama tręšti ant įšalusios, įmirkusios ar apsnigtos žemės“.

Asmuo, tręšiantis mėšlu ar srutomis  $> 50$  ha/m. žemės ūkio naudmenų privalo dirbti pagal iš ansto parengtą tręšimo planą.

Gyvūnų mėšlas, kaip ir kitos gyvulininkystės ūkiuose susidarantios atliekos priskiriamos prie 2-os kategorijos šalutinių gyvūninių produktų (ŠGP). Pagal ŠGP reglamentą, 2-os kategorijos ŠGP tvarkymui taikomi šie tiesūs aktai:

- LR sveikatos apsaugos ministerijos 2002-12-24 įsakymu Nr.678 patvirtintos „Gyvūninių atliekų tvarkymo taisyklės“[3];
- LR Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos 2012-01-20 įsakymu Nr. B1-45 patvirtinti „Šalutinių gyvūninių produktų ir jų gaminių tvarkymo ir apskaitos reikalavimai“[4];
- LR Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos 2006-05-22 įsakymu Nr. B1-352 patvirtintos „Taisyklės dėl šalutinių gyvūninių produktų ir perdirbtų šalutinių gyvūninių produktų, skirtų pašarų gamybai ir gyvūnų šėrimui, gamybos, tiekimo rinkai ir naudojimo“[5].

*Taikomi reikalavimai ŠGP turėtojams:* „atliekos turi būti renkamos į tinkamus, švarius, sterilius, nelaidžius konteinerius arba transporto priemones, kad būtų laikomasi pakankamo sterilumo“.

*Taikomi reikalavimai ŠGP tvarkymo įmonėms:* jos turi vykdyti Ūkio subjektų aplinkos monitoringą; teritorija turi būti atskirta nuo visuomeninių patalpų, kelių, nuo maisto produkto gamybos patalpų, skerdyklų. „Patalpose turi būti atitinkamai atskirti švarusis ir nešvarusis sektoriai“. Visi ŠGP perdirbimo įrenginiai turi būti uždari.



Nuotekų šalinimo sistema turi atitikti higienos reikalavimus. Darbuotojai turi būti aprūpinti specialia apranga, individualiomis apsaugos priemonėmis.

*Pagrindiniai reikalavimai 2 kategorijos ŠGP perdirbimui:*

- atliekos prieš perdirbimą turi būti kaitinamos 20 minučių bent iki 133 °C temperatūros esant 3 barų slėgiui;
- gali būti naudojamos ir kitos terminio apdorojimo sistemos, „jeigu jos yra patvirtintos kaip sistemos, galinčios užtikrinti lygiavertes mikrobiologinės saugos garantijas“;
- atliekos prieš perdirbimą smulkintuvu arba trintuvu susmulkinamos iki 50 mm.

Pagal ES reglamentą 1774/2002 ŠGP tvarkymas deginant, gali būti atliekamas tik įrenginiuose, kur proceso metu temperatūra pakyla iki 850 °C, susidaranti dujos valdomos.

Taip pat taisyklėse apibrėžiami ŠGP ir iš ŠGP gaminamų produktų naudojimo atvejai, pavyzdžiui, „draudžiama šerti gyvūnus perdirbtais gyvūniniais baltymais, gautais iš tų pačių rūšių gyvūnų kūnų ar jų dalių; draudžiama šerti ūkinės paskirties gyvūnus, išskyrus kailinius gyvūnus, viešojo maitinimo atliekomis arba pašarinėmis žaliavomis, kuriuose yra iš viešojo maitinimo atliekų gautų medžiagų“; taip pat draudžiama tręšti ganyklas organinėmis trąšomis ir dirvožemio savybes gerinančiomis medžiagomis (išskyrus mėšlą).

Atliekų mažinimo metodų taikymas optimizuojant technologinius procesus, leidžia ženkliai sumažinti BSA kiekį, tačiau mažinimo faktorius žemės ūkyje nebus lemiamas atliekų nesusidarymo faktui, nes neįmanoma išvengti gyvulininkystės atliekų. Vienas iš pagrindinių atliekų tvarkymo optimizavimo prioritetų išlieka – atliekų panaudojimas naujo (-ių) produkto (-ų) gamybai.

Jeigu gaminamas produktas – kompostas arba biodujos ir kompostas, šiuos biologinio apdorojimo procesus ir gaminamo komposto savybes reglamentuojamos:

- LR aplinkos ministro 2016-03-14 įsakymu Nr. D1-186 patvirtintais „Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginiai reikalavimai“[6];
- LR aplinkos ministro 2012-09-26 įsakymu Nr. D1-778 patvirtintais „Reikalavimai techninio komposto, techninio raugo ir stabilato kokybei ir naudojimui“[7].

*Kompostavimo aikštelių įrengimui keliami pagrindiniai reikalavimai:*

- iš aplinkos į ją negali patekti paviršinis ir požeminis (gruntinis) vanduo;
- iš jos į aplinką negali patekti nuotekos; jos turi būti surinktos ir panaudotos komposto drėkinimui arba prieš išleidžiant į aplinką turi būti apvalomos;
- būtina atsižvelgiama į vyraujančių vėjų kryptį (dėl galimo triukšmo ir kvapų emisijų);
- prieš įrengiant turi būti atlikta dokumentų atranka dėl poveikio aplinkai vertinimo.

*Pagal reikalavimai BSA kompostavimui ir (ar) anaerobiniam apdorojimui,*

- nepavojingos BSA, kurios gali būti biologiškai apdorojamos: maisto atliekos iš viešojo maitinimo, apgyvendinimo įmonių, maisto gamybos ir prekybos įstaigų; žaliosios atliekos nuo viešųjų teritorijų; žemės ūkio, daržininkystės, sodininkystės BSA; medienos apdorojimo; iš komunalinių atliekų srauto

išrūšiuotos BSA; I ir II kategorijos, A ir B klasės buitinių nuotekų valymo įrenginių dumblas; perdirbti netinkamas popieriaus ir kartonas (išskyrus spaudą, žurnalus ir laikraščius);

- draudžiama kompostuoti arba anaerobiškai apdoroti pavojingąsias, infekuotas atliekas, įsk. medicininės atliekas, kritusius gyvūnus, jų fekalijas ir kitas;
- mėšlą arba mėšlo - srutų mišinį kompostuojant uždaruose įrenginiuose (pavyzdžiui, konteineriuose, tuneliuose, kt.), turi būti išlaikoma  $> 65$  °C temperatūra ne trumpiau kaip 3 paras;
- apdorojant mėšlą anaerobiniu būdu (rauginimo, fermentavimo įrenginiuose), atliekų masė turi būti išlaikoma ne trumpiau kaip 2 savaites;
- kompostavimo ir anaerobinio apdorojimo metu turi būti nukenksminta mikrobiologinė tarša, pvz., žmogaus ir gyvūnų patogenai (salmonelės, žarnyno lazdelės (*E. Coli*));

*Reikalavimai techninio komposto gamybai.* Pagamintame komposte rekomenduojama vertinti ne tik sunkiuosius metalus ir mikrobiologinę taršą, bet ir papildomai vertinti šiuos kokybės parametrus (dėl jo naudojimo plėtros):  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ , sausąsias ir organines medžiagas (SM, OM), suminį azotą (N), suminį fosforą (P), suminį kalį (K), elektrinį laidį, vandenyje tirpų ir (arba) mineralinį azotą ( $\text{N-NH}_4+\text{N-NO}_3$ ), vandenyje tirpų fosforą (P), vandenyje tirpų kalį (K), anglies (C) ir azoto (N) santykį“.

*Rekomendacijos komposto krūvos (rietuvės) dydžiui* (Sanitarinė miškų apsaugos tarnyba):

Praktiškai nustatyta, kad optimalūs komposto krūvų matmenys turi būti tokie: geriausias aukštis 1,2 m, bet nedaugiau, kaip 1,5 m, pagrindo plotis apie 2,5-3,0 m, šonai su nedideliu nuolydžiu, kad krūva palaipsniui į viršų siaurėtų ir skersiniame pjūvyje sudarytų trapecijos formą, o viršuje plotis būtų 0,6-1,0 m ir sukrautos medžiagos nebyrėtų. Ilgis priklauso nuo tręšiamo ploto dydžio, bet nemažiau 3-4 m.

Esant mažesniems matmenims (krūvos aukščio ir pločio), krūvoje sunku palaikyti reikiamą temperatūros ir drėgmės režimą: sukurti būtina pakankamai aukštą temperatūrą bus problematiška, o tokia nedidelė krūva greitai ir dažnai perdžius. Esant didesniems matmenims, krūvos vidun nepateks pakankamas kiekis oro ir todėl kompostavimasis nevyks, o esant azotinių medžiagų pertekliui, gali labai pakilti temperatūra, kuri pražudys mikroflorą

Oro teršalų ribines vertes darbo aplinkoje reglamentuoja Lietuvos higienos norma NH 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai, matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“ (Žin., 2012 Nr. 112-5274; TAR, 2018 Nr. 09988). Pagal NH 23:2011  $\text{NH}_3$  ribinės vertės darbo aplinkoje: ilgalaikio poveikio ribinis dydis (IPRD) – 20 ppm arba  $14 \text{ mg/m}^3$ , trumpalaikio (TPRD) yra gerokai didesnis – 50 ppm arba  $36 \text{ mg/m}^3$ . Šiame dokumente pateikti oro teršalų išmetimų matavimams taikomi reikalavimai, pavyzdžiui, amoniako matavimai turi būti atliekami visą dieną kas 5-10 min.; oro ėminiai imami ne trumpiau kaip 15 min.; rezultatai gaunami milijoninėmis tūrio dalimis (ppm,  $\text{ml/m}^3$ ) nepriklausančiomis nuo oro temperatūros ir atmosferos slėgio pokyčių.

### 1.3. Biologiškai skaidžių atliekų biologinio apdorojimo metodai

Renkantis mėšlo tvarkymo sistemą, būtina atsižvelgti į laikomus gyvulius, bandos dydį, kokie naudojami pašarai, kraikas, darbo jėga, įranga ir pan. Tačiau labiausiai kreiptinas dėmesys į mėšlo tipą, nes nuo to priklauso ir jo apdorojimo būdas. Pusiau skystas mėšlas beveik visuomet yra tvarkomas kaip tirštas, dėl jame esančių didesnių SM dalelių.

Nepriklausomai ar ūkis yra didelis, ar mažas tinkamo mėšlo sistema ir planas yra būtini. Mėšlo tvarkymo tikslai yra šie [17]:

- palaikyti gerą gyvulių sveikatą ir pieno kokybę naudojant sanitarines priemones;
- vengti dirvos, gruntinių ar paviršinių vandenų taršos;
- mažinti kvapus ir dulkes;
- subalansuoti kapitalines investicijas, pinigų srautų reikmes, darbą ir maisto medžiagų panaudojimą;
- laikytis mėšlo ir nuotėkų tvarkymo reikalavimų.

Plačiausiai taikomi BSA biologinio apdorojimo metodai: aerobinis apdorojimas (kompostavimas) ir anaerobinis apdorojimas (fermentavimas arba pūdyimas).

#### Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimas

**Kompostavimo esmė** –į natūralų gamtos ciklą grąžinti gamybos ar vartojimo metu susidariusias organines atliekas ir jose esančius augalų makroelementus (N, P, K, kt.). Tai vienas iš plačiai taikomų būdų naudingai perdirbti biologiškai skaidžias organinės kilmės atliekas.

**Kompostavimas** – tai daugiau ar mažiau kontroliuojamas organinių medžiagų skaidymas, kurį atlieka bakterijos, mikromicetai (pelėsiniai grybai), įvairūs pirmuonys, bestuburiai, smulkūs gyvūnai, kurie minta organinėmis medžiagomis ir jas ardo. Jie vadinami skaidytojais arba reducentais (Staugaitis et al., 2011).

**Kompostas** – kompostavimo metu gautas produktas (kai kuriais atvejais gali būti vadinamas organinė trąša), gaminamas iš augalinės bei gyvūninės kilmės organinių atliekų. Kompostavimo metu susidaręs produktas savo išvaizda ir savybėmis būna panašus į tamsią, humusingą žemę. Jis pagerina dirvožemio struktūrą, padidina jo gebėjimą absorbuoti orą ir vandenį, mažina eroziją bei sintetinių ar dirbtinių trąšų poreikį. Jis ypač naudingas tuo atveju, kai dirvožemis skurdus, jame mažai organinių medžiagų ir augalų maisto elementų. Pilnai perdirbtas ir subrandintas kompostas nebeturi nemalonaus atliekų kvapo, o kvepia miško žeme. Tai stabilus praktiškai daugiau nebeyrantis produktas (Staugaitis et al., 2011).

Norint sėkmingai įgyvendinti ES ir LR atliekų tvarkymo strategijoje numatytas užduotis, didelis dėmesys turi būti skiriamas BSA atskiram surinkimui. Turi būti užtikrinamas atskiras BSA, esančių komunalinėse atliekose, surinkimas, taip pat atskiras maitinimo įstaigose susidarantių maisto ruošimo atliekų ir netinkamų maisto produktų surinkimas, žemės ūkyje susidarantių žaliųjų atliekų, maisto perdirbimo įmonių atliekų atskiras surinkimas ir kompostavimas, naudojant modernias technologijas, užtikrinančias griežtus aplinkosaugos ir higienos reikalavimus.

Kompostavimo praktikoje naudojami būdai suskirstyti į tradicinius, dažniausiai atvirus ir intensyvaus kompostavimo būdus.

Intensyvaus kompostavimo būduose naudojamos:

- uždaro technologijos (konteinerinis, tunelinis kompostavimas arba kompostavimas, naudojant specialias plėveles), kuriose yra pagrindinių parametrų kontrolė ir valdymas, ir kuriose pirminis kompostas gali būti pagamintas per 2-3 savaites (Kliopova, 2016, Staniškis et al., 2017);
- priemonės, kurių naudojimas optimizuoja tradicinio kompostavimo procesą: smulkinimas prieš kompostuojant, dažnesnis perkasimas, maišymas ar mechanizuota aeracija (suspausto oro padavimas), atitinkamų mikroorganizmų rūšių, sliekų, celiuliozę ardančių organizmų panaudojimas) (Staugaitis et al., 2011, Kliopova ir Stanevičiūtė, 2013, Staniškis et al., 2017).
- įvairūs procesą greitinantys preparatai ar kitos medžiagos: mineraliniai azoto junginiai, azotu ir arba anglim turtinga organinė medžiaga, pjuvenos, probiotinės medžiagos, kt. (Staugaitis et al., 2011, Budrys, 2018).

Tradiciniai kompostavimo būdai dažniausiai yra pagrįsti anaerobiniu medžiagos ardymo procesu ir tais aerobinio kompostavimo procesais, kuriuose naudojama pasyvi aeracija – krūva perkasama retai, vos keletą kartų, arba ji pastoviai aeruojama per perforuotus vamzdžius. Tokie kompostavimo procesai užtrunka ne trumpiau kaip keletą mėnesių – iki metų.

Intensyvaus kompostavimo būdai gali sutrumpinti aerobinio kompostavimo procesą iki 3-5 savaičių.

Kompostavimo metu termofilais pasiekiamos temperatūros (iki 70 °C) dėka sunaikinamos komposto krūvoje esančios piktžolių sėklos bei patogeniniai organizmai (Staugaitis et al., 2011, Staniškis et al., 2017).

**Tradicinis pasyvaus kompostavimo būdas:** medžiaga kraunama į krūvas ar duobes / griovius, neperkasama arba perkasama labai retai. Dažnai susidaro anaerobinės sąlygos. Kompostas pasigamina maždaug per 1-2 metus. Sąnaudos šiuo atveju yra minimalios (Staugaitis et al., 2011).

**Tradicinis pasyvaus kompostavimo būdas pasitelkiant pasyvią aeraciją:** nuo ankstesnio būdo skiriasi tuo, kad krūva dažniau perkasama, taip sudarant sąlygas aerobiniams kompostavimosi procesams. Komposto gamybos proceso trukmė gali sutrumpėti iki nepilnų metų. Šis būdas pasižymi didelėmis darbo jėgos sąnaudomis, tačiau nereikalauja didelių investicijų, įrangos ar technikos (Staugaitis et al., 2011).

**Perkasamos komposto krūvų eilės:** tai vienas populiariausių kompostavimo būdų išsivysčiusiose šalyse. BSA kompostuojamos atvirai arba po stogine specialiai įrengtose aikštelėse lysvėse. Eilės BSA periodiškai perkasamos ekskavatoriumi ar kita tam tikslui pritaikyta technika, pvz., vartytuvais. Perkasimo metu sumaišomos kompostuojamos medžiagos, palaikoma pasyvi aeracija ir aerobiniam skaidymui palankios sąlygos. Kompostavimosi procesas gali užtrukti iki 3 mėnesių, priklausomai nuo BSA ir aplinkos meteorologinių sąlygų (Staugaitis, 2011).

**Kompostavimas, naudojant mechaninę aeraciją:** vykdomas nejudinant kompostavimo krūvą, iš apačios paduodant suspaustą orą. Kompostavimo proceso trukmė – iki 5 savaičių. Taikant tokį kompostavimo būdą, galima supilti aukštesnes ir platesnes krūvas, taip sumažėja kompostavimui reikalingas plotas. Deja, žemės ūkio atliekų kompostavimui šie būdai taikomi retai, todėl trūksta patirties (Staugaitis et al., 2011).

**Intensyvus kompostavimas, pasitelkiant aukštą temperatūrą krūvoje:** aerobinis medžiagos ardymas spartinamas naudojant keletą aukščiau minėtų priemonių: kompostavimui skirta žaliava susmulkinama; įterpiamos mineralinės medžiagos (pvz.: amonio sulfatas, karbamidas), azotu/fosforu turtingos medžiagos (paukščių mėšlas); masė dažnai (intensyviausiai) perkasama/maišoma; kompostavimas vykta uždara, naudojant konteinerius, tunelius, besisukančias talpas. Tokių sistemų dėka sumažinamas darbo jėgos poreikis, orų įtaka, kompostavimo darbams reikia gerokai mažesnio ploto. Procesas pilnai automatizuotas: palaikoma tinkama temperatūra, drėgnis, oro kiekis. Priklausomai nuo naudotų priemonių ir perkasimo (vartymo, maišymo, sukimosi) dažnumo, komposto gamyba gali užtrukti 2 – 4 savaites. Šis būdas reikalauja investicijų į proceso mechanizavimą (Kliopova ir Stanevičiūtė, 2013, Staniškis et al., 2017).

**Intensyvus kompostavimas, pasitelkiant veiklius mikroorganizmus (probiotines kompozicijas):** BSA ardymo procesams paspartinti į komposto krūvą įterpiami veiklūs ląstelieną ardantys mikroorganizmai, kurių dėka kompostavimosi procesas ženkliai sutrumpėja, sumažėja kvapų ir oro teršalų emisijos, gaminamas saugesnis produktas. Procesui paspartinti, galima taikyti pasyvią aeraciją per perforuotus vamzdžius (Budrys, 2018).

**Vermikompostavimas:** gana naujas organinių atliekų tvarkymo būdas. BSA čia ardo ne mikroorganizmai, bet sliėkų virškinimo sistemoje veikiantys enzimai. Gaunamas labai kokybiškas kompostas, proceso metu krūvos nereikia perkasinėti. Siekiant išlaikyti aerobines sąlygas ir ne per aukštą temperatūrą, krūvos turi būti mažesnių apimčių. Kompostavimo procesas užtrunka 6-12 savaičių (Staugaitis et al., 2011, Kliopova ir Stanevičiūtė, 2013).

Kai kuriais atvejais verta tarpusavyje derinti keletą būdų ir gauti kokybišką kompostą. Pavyzdžiui, po aukštos temperatūros fazės aerobinio kompostavimo metu galima į krūvas įterpti sliėkus ir užbaigti procesą vermikompostavimo būdu.

**Komposto gamybos problemos** (Kliopova, 2016, Staniškis et al., 2017):

- reikia papildomai panaudoti nemažą ŽA kiekį;
- pagal praktiką, azotu turtingų BSA (mėšlas, dumblas, maisto atliekos) ir ŽA santykis pagal tūrį turi būti 1:1; kadangi ŽA tankis yra labai nedidelis, tai atsiranda nemažos išlaidos ŽA transportavimui;
- siekiant sumažinti šias išlaidas siūloma sudaryti sutartį su ŽA artimiausiais objektais (parkai, ūkininkai, maisto pramonės įmonės bei kavinės, kt.);
- išlakos į aplinkos orą (esant atvirai sistemai);
- nemalonių kvapų poveikis bei blogų darbo sąlygų susidarymas, esant nepakankamai proceso kontrolei;
- dideli plotai reikalingi dumblo kompostavimui bei brandinimas (*ypatingai jeigu naudojamas tradicinis atviras kompostavimas*);
- nepanaudojamos BSA energetinės savybės.

## Biologiškai skaidžių atliekų anaerobinis apdorojimas

*Anaerobinis apdorojimas* dažniausiai naudojamas dideliame BSA kiekiui biologiškai apdoroti – fermentuoti, išgaunant biodujas. Anaerobinis skaidymas ypač tinka apdoroti drėgnoms BSA, įskaitant mėšlą, riebalus, kitus maisto pramonės atliekas. Jo metu kontroliuojamuose reaktoriuose pagaminamas biodujų mišinys (daugiausia metanas ( $\text{CH}_4$ ) – 50–75 % ir anglies dioksidas ( $\text{CO}_2$ )). Išskiriami keli anaerobinio fermentavimo būdai: šlapias fermentavimas; sausas fermentavimas; pusiau sausas fermentavimas, pilnai sausas (tinkamas tik komunalinėms BSA apdoroti). Po anaerobinio fermentavimo likusi pūdyta masė yra homogenizuojama – vykdomas anaerobinio raugo gravitacinis sausinimas arba tolimesnis biologinis apdorojimas – kompostavimas (Staniškis et al., 2017).

Anaerobinis energetinių šakniavaisių, žolių ir kitų BSA perdirbimas į biodujas yra laikomas vienu iš efektyviausių perdirbimo būdų, kai pilnai išnaudojamos BSA ir maistinės, ir energetinės savybės (Staniškis et al., 2017). Biologiškai suyrančias žaliavas perdirbant biodujų jėgainėse, mažiau teršiamas aplinkos oras, vanduo ir dirvožemis, pagamintos biodujos yra vertingas kuras. elektros ar šiluminės energijos gamybai, o perdirbta biomasė – raugas po papildomo mechaninio arba biologinio apdorojimo panaudojamas laukų tręšimui.

Tinkamas proceso valdymas daro didelę įtaką mikroorganizmų, kurie dalyvauja anaerobiniame pūdymo procese, fizikinėms ir cheminėms savybėms. Visi organizmai yra prisitaikę gyventi tam tikroje aplinkoje. Todėl labai svarbu parinkti optimaliausius aplinkos t.y. temperatūros, įkrovos, žaliavos proceso parametrus, kurie teigiamai įtakotų mikroorganizmų dauginimosi, bei biodujų išgavimo didėjimą, su kuo mažesnėmis energijos sąnaudomis (Daniliauskas, 2015).

Anaerobinio proceso metu biodujas galima gauti iš visų organinių medžiagų. Tačiau vienos organinės medžiagos yra sunkiai skaidomos, todėl iš jų gaunama mažiau biodujų, kitos – lengviau, todėl iš jų gaunamas žymiai didesnis biodujų kiekis, kuriose yra žymiai didesnė metano koncentracija (Daniliauskas, 2015).

Iš žemės ūkio naudmenų gaunamos organinės medžiagos, kurios tinka išgauti biodujas, galima suskirstyti į gyvulinės kilmės ir augalinės kilmės.

Biodujoms išgauti labiausiai tinka lengvai suyrančios skystos organinės medžiagos (žr. 1.2 lentelė).

**1.2 lentelė.** Žaliavų (iš BSA) biodujoms gaminti šaltiniai (Weiland, 2010)

Sritis	Šaltinis
Žemės ūkis	Gyvulių mėšlas, augalų liekanos, energetiniai augalai
Gyvenvietės	Maisto atliekos, nuotekų dumblas, vejų žolė, medžių lapai, kitos organinės atliekos
Pramonė	Pieno, mėsos ir žuvies perdirbimo, gėrimų, odų, krakmolo, pašarų, vaistų, kosmetikos, popieriaus, cukraus gamybos atliekos

Daugiausiai žaliavų biodujų išgavimo procese sudaro kiaulių, galvijų ir paukščių mėšlas. Europoje mėšlas biodujų jėgainėse sudaro labai didelę dalį perdirbamos biomasės. Tai lemia vis didėjančias gyvulininkystės ūkių skaičius, nuo ko priklauso vis didėjančių juose susidarančių atliekų kiekis.

Šiuo metu yra labai paplitęs anaerobinis nuotekų dumblo, maisto atliekų, bei skerdyklų, odų, aliejaus, margarino, žuvų, vaisių (pramoninių) organinių atliekų apdorojimas bioreaktoriuose (Daniliauskas, 2015).

## 1.4. Plačiausiai taikomi žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų valdymo metodai

### Žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų surinkimas, kaupimas ir laikymas

Vienas iš svarbiausių veiksnių tvarkant gyvulių mėšlą yra galimybė jį surinkti ir sandėliuoti ištikus metus, kad į pasėlius būtų galima paskleisti tada, kai to labiausiai reikia. Paprasčiausi sandėliavimo įrenginių pavyzdžiai – didelės betoninės talpyklos, kuriose galima laikyti mėšlą (paprastai 500–5000 m<sup>3</sup> talpos). Šios talpyklos labai paprastos, tačiau reikalauja gan didelių investicijų. Daugumoje talpyklų galima sumontuoti sandarius dangčius, pirmiausia siekiant sumažinti amoniako ir kvapų sklidimą. Kietam mėšlui galima naudoti ir duobes (Conrad Stralka, 2010).

Mėšlas ir srūtos laikomos mėšlidėse iki balandžio mėn. ir vėliau naudojamas laukų tręšimus nustatytais kiekiais ir nustatytu laiku.

Apdorojant mėšlą arba mėšlo srutų mišinį, taikomi reikalavimai techninio komposto, techninio raugo ir stabilato kokybei ir naudojimui [7] uždaruose įrenginiuose (pavyzdžiui, konteineriuose, besisukančiuose cilindruose, tuneliuose), ne trumpiau kaip 3 paras turi būti išlaikoma > 65 °C temperatūra. Apdorojant mėšlą anaerobinio apdorojimo (rauginimo, fermentavimo) įrenginiuose, apdorojama masė turi būti išlaikoma ne trumpiau kaip 2 savaites.

Problemų kelti gali mėšlo išvežimo iš mėšlidės laikas, kuris leidžiamas tik tam tikru laiku, todėl atsiranda problema, kad ūkininkams laiku neišvalius mėšlidžių, tikėtina, kad nebeturės kur dėti mėšlo (galimas sandėliavimas lauke). Laukų tręšimo metu, mėšlas, kompostas iškart turi būti įterpiamas į dirvą, neigiamas poveikis vandenims dėl koncentruotų atliekų, nemalonių kvapų problema.

### Žemės ūkio žaliųjų atliekų aerobinis apdorojimas

Žemės ūkio žaliosios atliekos (ŽA) dažniausia apdorojamos, jas kompostuojant (dažniausiai – atvirai arba naudojant mulčiavimą) (žr. 1.3.1 poskyrių). Iš ŽA pagamintas kompostas (ŽAK) dažniausiai naudojamas tik apželdinimo tikslams, kadangi nepasižymi aukštomis vertingumo rodyklėmis (Kliopova & Stanevičiūtė, 2013; Staugaitis et al, 2016; Staniškis et al, 2017).

Pagal reikalavimus, pateiktus „Reikalavimai techninio komposto, techninio raugo ir stabilato kokybei ir naudojimui“ [7], apdorojant atskirai surinktas natūralias nepavojingasias augalinės kilmės žemės ūkio atliekas, teisės aktuose nurodytas augalinės kilmės atliekas, popieriaus ir kartono atliekas, kompostavimo įrenginiuose (dažniausiai - atviruose kaupuose), turi būti išlaikoma > 55 °C temperatūra ne trumpiau kaip 2 savaites, vartant kaupus bent 3 kartus arba turi būti išlaikoma > 60 °C temperatūra ne trumpiau kaip 1 savaitę, vartant kaupus bent 2 kartus. Apdorojant natūralias nepavojingasias augalinės kilmės žemės ūkio atliekas uždaruose įrenginiuose (pavyzdžiui, konteineriuose, besisukančiuose cilindruose, tuneliuose), turi būti išlaikoma > 65 °C temperatūra > 3 paras.

Šis metodas gali būti mažiau taikomas, nes kompostavimo kiekiai ganėtinai maži, procese naudojamos medžiagos tik iš žaliųjų atliekų, todėl didelio kompostavimo kaupo padaryti neišeina dėl mažo medžiagų kiekio.

## Mėšlo ir žemės ūkio žaliųjų atliekų kompostavimas

Mėšlą būtina kompostuoti kartu su kitomis anglim (C) turtingomis BSA, pvz., šiaudais, grūdų atliekomis ir kt. Šiam tikslui dažniausiai naudojamos klasikinės technologijos: atviras kompostavimas pasitelkiant vartytuvus, sijotuvus, smulkintuvus. Tačiau atsiranda ir problemų: dideli komposto kiekiai yra nebepanaudojami, kaip energetinės (maistinės) medžiagos pavyzdžiui tręšiant, nes norint padaryti kompostą tinkamą antriniam panaudojimui, būtinos tam tikros sąlygos kompostavimo procesuose. Svarbiausias problematikos išsprendimas būtų dėl to, kad BSA tvarkymas padeda: sumažinamas atliekų pavojingumas, biologiškai skaidžios atliekos paverčiamos naudingomis medžiagomis ir produktais.

Laikantis rekomendacijų organinių medžiagų kompostavimui (1998) kompostuojant bioskaidžias medžiagas kaupuose, negalima sukrauti labai aukštų krūvų, nes atliekos dėl pakankamai didelio savo svorio susislegia, nelieka porų ir jos, trūkstant deguonies, pūva, o ne fermentuojasi. Pūvant išsiskiria metano dujos ir sparčiai dauginasi puvinimo bakterijos.

Yra daug rodiklių, kuriuos privaloma gauti ir palaikyti, norint pagaminti geriausios kokybės kompostą. Kompostą ruošiantys mikroorganizmai turi pastoviai gauti deguonies ir maisto, turi būti pakankamai šilumos ir drėgmės kiekio (1.3 lentelė). Komposto krūvoje vyraujant azotinėms medžiagoms, ją reikia rūgštinti, tai galima daryti pavyzdžiui pridant medžio pelenų, kalkių, kreidos ar dolomito miltelių. Tačiau krūvoje vyraujant anglies medžiagoms, būtina kompostavimo procesą suaktyvinti, į jį pridant amonio salietros ar karbamido, tačiau būtina laikytis rekomenduojamo santykio: vienam kubiniam metrui organikos, vienas kilogramas medžiagos.

Taip pat labai svarbu, kad komposto krūva nebūtų sukrauta pernelyg tankiai ar puriai, neturi būti sausa ar labai drėgna. Tokiu būdu sukuriamos palankiausios sąlygos mikroorganizmams vystytis, kurie turi gauti gyvybinei veiklai reikalingą orą ir vandenį (Staugaitis et al. 2016).

Jau sukrautą ir paruoštą kompostavimui kaupą rekomenduoja uždengti žalia ar juoda polietileno plėvele, kuri atliktų svarbią funkciją kompostuojant – palaikytų ir saugotų kaupe esančios drėgmės kiekį, slopintų piktžolių augimą ir sugertų saulės šilumą. Taip pat plėvelė atlieka ir apsaugos funkciją, krūvą apsaugodama nuo stipraus lietaus, kuris gali išplauti komposte esančias maisto medžiagas.

Kad mikroorganizmams nepritrūktų drėgmės, kuomet yra sausra ar sausas oras, komposto kaupą būtina palieti. Laistyti nereikia tuo atveju, kai kaupo viduje susidaro 50 °C ir daugiau šilumos. Minimalus mikroorganizmų drėgmės kiekis yra 12-15 proc., tačiau optimalus rekomenduojamas apie 60-70 proc., kai drėgmė siekia 45-50 proc. ar mažiau kompostavimo procesas sulėtėja. Ardančiosios bakterijos aktyviausiai veikia, kai kaupe yra palaikomas 40-70 °C temperatūra, kuo temperatūra arčiau rekomenduojamos aukščiausios, tuo kompostavimo procesas vyks greičiau (Staugaitis et al. 2016, Ruirui et al., 2015).

Oras kompostavimo procese atlieka labai svarbią reikšmę, labai svarbu, kad oras krūvoje pastoviai pasipildytų ir tolygiai patektų į visus kompostuojamosios masės sluoksnius. Todėl komposto krūvą labai svarbu reguliariai permaišyti ar pavartyti, įprastai kompostavimo krūva permaišoma iki 4 kartų per visą kompostavimo ciklą.



**1.3 lentelė.** Idealioms kompostavimo sąlygoms (technologiniai parametrai) skirtingų kompostavimo fazių metu (Brazas, 2011)

Mezofilinė kompostavimo fazė	Termofilinė kompostavimo fazė	Mezofilinė mineralizacijos ir brandinimo (stabilizacijos) fazė
Temperatūra 30-45°C pH- 6,5-8 C : N santykis – 10-20:1 Drėgnumas 50-60 proc. Dalelių dydis – 5-50 mm O <sub>2</sub> koncentracija >10 proc.	Temperatūra 45-80°C pH- iki 8-9 C : N santykis – >20:1 Drėgnumas 55-70 proc. Daug organinio azoto	Temperatūra 45-20°C pH- iki 7-7,5 Drėgnumas 35-45 proc.
Trukmė: 1-2 dienos	Trukmė: nuo 1-2 savaičių iki 1 mėnesio	Trukmė: nuo 2 mėnesių iki 1 metų

**Įvairių gyvūnų mėšlo (šalutinių gyvūninių produktų) anaerobinis apdorojimas kartu su kitomis biologiškai skaidžiomis atliekomis**

Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) anaerobinio apdorojimo su kitomis BSA įskaitant ir ŠGP, gaminant biodujas ir raugą, technologiniai procesai vyksta uždaruose talpose ir reaktoriuose. Atskirame uždaro tipo konteineryje kaupiamas gyvūnų mėšlas, ta, kad jo masės drėgnį padidinti iki 90 proc. paduodama dalis po anaerobinio proceso pagaminto substrato arba jo skystos frakcijos.

Anaerobinis procesas vyksta mezofilinėje temperatūroje naudojant vieno arba dviejų reaktorių sistemą. Pavyzdžiui, taikant dviejų reaktorių sistemą, pirmajame reaktoriuje biomasė yra pastoviai maišoma apie 40 dienų, šio proceso metu yra pagaminama apie 70 proc. biodujų. Po pirmojo reaktoriaus proceso biomasė yra perpumpuojama į antrąjį reaktorių, kuriame laikoma dar apie 20 dienų.

Anaerobiškai apdorotus raugas yra perpumpuojamas per tarpinį rezervuarą į frakcionavimo procesą, kurio metu yra atskiriama sausoji dalis. Tiek sausos tiek skystos frakcijos dalys yra laikomos uždaruose rezervuaruose, kuriuose laikomos laikinai. Šio proceso metu pagamintos biodujos yra nukreipiamos į kogeneracinę jėgainę alternatyvios energijos gamybai.

Kaip alternatyva raugas, kuris po anaerobinio apdorojimo yra nusauginamas ir vėliau naudojamas dažniausiai taikant atvirą kompostavimą kartu su žaliosiomis atliekomis. Tokiu būdu pagamintas kompostas laikomas aukštos kokybės trąša (Boldrin et al., 2009, Amlinger et al., 2008).

Šio proceso metu didžiausias poveikis susidaro dėl ŠESD ir oro teršalų iš stacionarių ir neorganizuotų šaltinių, bei mobilių šaltinių, naudojant įvairią techniką su vidaus degimo varikliais (pagrindinis deginamas kuras – dyzelinis).

**1.5. Poveikis oro kokybei dėl žemės ūkyje susidarantių teršalų, tvarkant biologiškai skaidžias atliekas**

Gyvulininkystė yra svarbus aplinkos oro taršos šaltinis. Nors mokslininkų atlikta daug tyrimų, nustatant dujų emisijos intensyvumą iš mėšlo, tačiau pastebimi labai dideli skirtumai pateikiamuose rezultatuose. Amoniako

emisija iš vienos karvės vietos per metus kinta nuo 3 iki 17 kg. Tą sąlygoja skirtinga mėšlo sudėtis, tyrimų sąlygos, taikoma metodika, naudojama įranga (Naujokienė, 2011).

Pasak V. Ribikausko ir G. Vaičionio, žemės ūkyje galvijininkystė yra didžiausias atskiras antropogeninio amoniako šaltinis: 25% azoto, galvijų išskiriamo su šlapimu ir išmatomis, arba 20% viso gaunamo azoto yra netenkama amoniako pavidalu. Pastaruoju metu galvijininkystėje vis dažniau imamas priemonių sumažinti amoniako emisiją iš mėšlo tiek siekiant padidinti organinių trąšų vertę, tiek norint įgyvendinti amoniako normatyvus.

BSA biologinio apdorojimo technologiniuose procesuose į aplinkos orą išsiskiria  $NH_3$ , NMLOJ, CO, KD,  $H_2S$ ; netiesiogiai, naudojant dyzelinį kurą –  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $NH_3$ , KD, NMLOJ (Staugaitis et al., 2016).

Pagrindinis oro teršalas tvarkant žemės ūkio BSA yra amoniakas ( $NH_3$ ) – dujinis azoto ir vandenilio junginys, kuris sukelia rūgštėjimą. Tai nuodingos, bespalvės, nemalonaus kvapo dujos. Amoniakas patekęs į atmosferą ir paveiktas lauko oro deguonies lengvai jungiasi su vandeniu. Taip susidaro azotinės bei nitritinės rūgštys ir ore susiformuoja žmogui žalingos amonio nitrato dalelės [13].

Naudojantis mokslinės literatūros duomenimis (Staugaitis et al. 2016), 1.4 lentelėje pateikti įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) laikymo mėšlidėse emisijų faktoriai.

**1.4 lentelė.** Žemės ūkio BSA apdorojimo metu susidariusių oro teršalų emisijų faktoriai (Staugaitis et al. 2016)

žemės ūkio BSA plačiausiai Lietuvoje taikomi metodai	Studijoje įvertinti teršalų emisijų faktoriai, kg/t BSA						Teršalų suma, kg/t BSA		
	$NH_3$	LOJ	CO	$NO_x$	KD	$SO_x$	Min.	Maks.	Nustatyta
							8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) laikymas mėšlidėse (nekompostuojant)	4,627	2,088	0,011	0,058	1,090	0,0001	<b>0,804</b>	<b>14,943</b>	<b>7,873</b>
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) fermentavimas ir gautojo raugo atviras kompostavimas	0,725	0,472	0,035	0,187	0,003	0,024	0,719	2,324	1,447
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) atviras kompostavimas	0,385	0,471	0,012	0,031	0,001	0,000	0,277	1,195	0,901

Iš įvairių BSA tvarkymo metodų didžiausias poveikis oro kokybei (Staugaitis et al., 2016):

- dėl eutrofikacijos procesų, kurių įtakoja  $NH_3$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  dujų išsiskyrimas (laikant mėšlą mėšlidėje ir jį naudojant tręšimui, t.y. nekompostuojant (iki 4,68 kg/ t BSA));
- dėl troposferos (priežemio) ozono susidarymo, pavyzdžiui dėl šių oro teršalų: LOJ,  $NO_x$ ,  $SO_2$  (laikant mėšlą mėšlidėje ir naudojant jį tręšimui be kompostavimo (iki 2,146 kg / t BSA)).

Studijoje (Staugaitis et al., 2016) vertinamas tiesioginis ir netiesioginis poveikis aplinkos orui dėl susidarančių teršalų. Vertinant tiesioginį poveikį, analizuojamas oro teršalų susidarymas iš stacionarių oro taršos šaltinių (mėšlidžių, biologinio apdorojimo įrenginių), iš mobilių oro taršos šaltinių (deginant dyzelinį kurą vidaus žemės ūkio technikos vidaus deginio varikliuose).

Pagrindinė metodika įvertinti oro teršalų kiekį BSA kompostavimo metu yra pateikta Europos aplinkos agentūros EEA/CORINAIR oro teršalų inventorizacijos vadove 5.B.1 skyriuje „Biologinis atliekų apdorojimas

– kompostavimas“ [18]. Teršalų emisijos vertinamos pagal 4 formulę, parenkant tinkamus emisijų faktorius:  $\text{NH}_3$  – 0,66 kg/t;  $\text{CO}$  – 0,56 kg/t.

Pagrindinė metodika įvertinti oro teršalų kiekį vidaus degimo varikliuose deginant dyzelinį kurą, įsk. emisijų faktorius ( $\text{EF}_k$ , kg/t BSA) pateikta EEA/CORINAIR oro teršalų inventorizacijos vadove 1.A.4 skyriuje „Ne kelių mobiliosios mašinos“ [18]. Šiuo atveju taikomi emisijų faktorijai:  $\text{CO}$  – 7,061 kg/ t dyz. kuro;  $\text{NH}_3$  – 0,008 kg/ t dyz. kuro;  $\text{NMLOJ}$  – 1,588 kg/ t dyz. kuro;  $\text{NO}_x$  – 22,087 kg/ t dyz. kuro;  $\text{KD}$  – 1,031 kg/ t dyz. kuro.

Vertinant netiesioginį poveikį aplinkai bendrosios oro teršalų gali būti tiek mažesnės, tiek didesnės. Pavyzdžiui, jei BSA būtų fermentuojamos ir fermentavimo metu išgaunamos dujos, kurios gali būti panaudojamos ir kitų atliekų tvarkymui, arba parduodamos kaip produktas, tokiu atveju vertinant netiesioginį poveikį aplinkai, jis sumažėja.

Siekiant sumažinti kenksmingų dujų emisijas tvarkant mėšlą, visų pirma reikia ieškoti būdų mažinti tarša iš pačių tvartų, kuri sudaro virš 37 proc. nuo bendrų emisijų šioje veikloje. Tinkamai pasirenkant gyvulių laikymo technologiją, galima ženkliai įtakoti ir poveikio aplinkos oro sumažėjimui. Laikymo technologija, tvarto vidaus įranga, mėšlo šalinimo sistemos – visa tai labai įtakoja mėšlo rūšį ir sudėtį, mėšlu užteršiamus plotus, aplinkos temperatūrą ir kt. veiksnius, įtakojančius dujų emisijos intensyvumą. Priklausomai nuo tvarto suplanavimo, naudojamos įrangos bei konstrukcinių medžiagų, keisis ir dujų emisijos šaltiniai bei emisijų faktoriai (Naujokienė, 2011).

## **1.6. Poveikis klimato kaitai dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų susidarymo žemės ūkyje tvarkant biologiškai skaidžias atliekas**

Didžioji šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) dalis susidaro natūraliai. Tačiau, prasidėjus industrializacijai, atmosferoje pradėjo kauptis antropogeninės dujos, praleidžiančios saulės spindulius, tačiau sulaikančios šilumą, sklindančią nuo žemės paviršiaus, kas nulėmė temperatūros padidėjimą – klimato kaitą (Staugaitis et al. 2016).

Atsižvelgiant į atliktus mokslinius tyrimus ir dabartinę situaciją, klimato kaitą žemėje lemia ne tik natūralūs reiškiniai, bet ir antropogeniniai veiksniai. Gyvulininkystės ūkiuose kaupiasi daug ŠESD, kurių įtaka stiprina šiltnamio efektą. Pagrindinis iš jų - azoto suboksidas ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Paprastai šios dujos natūraliai išsiskiria iš vandenynų, atogrąžų miškų, dirvoje gyvenančių bakterijų. Pagrindiniai antropogeninės veiklos  $\text{N}_2\text{O}$  šaltiniai: organinių atliekų, ypač žemės ūkio, tvarkymas; azoto turinčios trąšos; iškastinio kuro deginimas; chemijos pramonė. Šios dujos sudaro iki 6% ŠESD emisijų.  $\text{N}_2\text{O}$  įnašas į šiltnamio efektą yra iki 298 kartų didesnis nei  $\text{CO}_2$  [13].

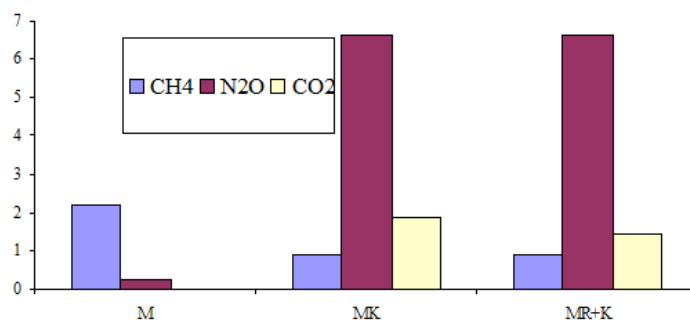
Naudojant papildomas medžiagas, pvz. probiotikus, didesnę kiekį ŽA arba pjuvenas, ŠESD kiekis gali ženkliai mažėti. Pavyzdžiui, kompostuojant tradiciniu būdu išsiskiriančių ŠESD:  $\text{CO}_2$  -165 g/ kg BSA;  $\text{N}_2\text{O}$  – 10,2 g/ kg BSA;  $\text{CH}_4$  – 187,3 g/ kg BSA; (Su Lin Lim, 2016), tuo tarpu kompostavimui naudojant medžio drožles ŠESD ženkliai sumažėja:  $\text{CO}_2$  -48 g/ kg BSA;  $\text{N}_2\text{O}$  – 3,62 g/ kg BSA;  $\text{CH}_4$  – 1,08 g/ kg BSA (Su Lin Lim, 2016).

Anaerobiškai apdorojant BSA, susidaro metano (CH<sub>4</sub>) dujos. Metanas išsivysčiusiose pramonės šalyse sudaro apie 15% ŠESD emisijų. Šios dujos išsiskiria kaip natūraliai - iš bakterijų, mintančių organinėmis medžiagomis, esant deguonies trūkumui, taip ir dėl antropogeninės veiklos (iškastinių dujų kasimas ir deginimas, organinių atliekų tvarkymas, kt.). Daugiausia metano išskiria atliekos, irdamos sąvartynuose, nuo gyvulininkystės, anglies kasybos, gamtinių dujų ir naftos gavybos veiklų. Metano išlakos įtakoja šiltnamio efektą iki 21 - 25 kartų stipriau palyginti su CO<sub>2</sub> dujomis, tačiau šios emisijos trumpiau išbūna atmosferoje - iki 10–15 metų [13].

Lietuvoje atliekant mokslinius tyrimus, įvertintas tiesioginis poveikis dėl ŠESD žemės ūkyje apdorojant BSA (Staugaitis et al., 2016), rezultatai pateikti 1.5 lentelėje, bei 1.1 paveiksle.

**1.5 lentelė.** ŠESD susidarymas, apdorojant žemės ūkio BSA, kg/t BSA (tiesioginis poveikis) (Staugaitis et al., 2016)

žemės ūkio BSA plačiausiai Lietuvoje taikomi metodai	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Bendrai		
				Min.	Maks.	Nustatyta
1	2	3	4	5	6	7
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) laikymas mėšlidėse (nekompostuojant)	2,191	0,235	0,000	0,139	4,712	2,426
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) fermentavimas ir gautojo raugo atviras kompostavimas	0,885	6,641	1,874	2,041	183,898	9,399
Įvairių gyvūnų mėšlo (ŠGP) atviras kompostavimas	0,892	6,641	72,207	2,048	255,079	79,739



1.1 pav. ŠESD susidarymas, įvairiai tvarkant žemės ūkio BSA, kg/t (Staugaitis et al., 2016)

Kaip matoma iš pateiktų rezultatų įvairiai apdorojant žemės ūkio BSA didžiausias poveikis klimato kaitai atsiranda dėl N<sub>2</sub>O ir kitų ŠESD išsiskyrimo kompostuojant mėšlą arba mėšlo raugą. Bet šioje analizėje dėl duomenų stokos nebuvo vertinama, kiek ŠESD išsiskiria tuomet kai laukai tręšiami nekompostuotu mėšlu.

### 1.7. Žemės ūkyje gaminamų kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai

Komposto, kaip trąšos ar dirvožemio gerinimo medžiagos, kokybę charakterizuoja jame esančios svarbiausios maisto medžiagos tokios kaip: azotas, fosforas, kalis. Svarbios ir kitos tokios, kaip kalcis, magnis, siera, chloridai, mikroelementai, tačiau ne visose ES šalyse gamintojams visas jas būtina nurodyti. Profesionaliems šiltnamių turėtojams, dekoratyvinių augalų augintojams, daržininkams ir sodininkams žinoti šių

maisto medžiagų kiekį ne tik, kad reikia, bet ir būtina. Taip pat labai svarbūs yra ir kiti komposto rodikliai, tokie kaip organinių ir sausųjų medžiagų kiekis, pH, elektrinis laidis, anglies ir azoto santykis (C:N). Paprastai pateikiamas bendras ir vandenyje tirpus šių maisto medžiagų kiekis, kuris rodo kiek maisto medžiagų augalai galės įsisavinti tuoj po tręšimo.

Visų pagamintų kompostų ar anaerobinių raugų mikrobiologinė tarša neturėtų viršyti šių ribinių dydžių:

- fekalinių žarnyno lazdelių (*Escherichia coli*)  $\leq 1000$  kol. sk./g;
- anaerobinių klostridijų (*Clostridium perfringens*)  $\leq 100\,000$  kol. sk./g;
- helmintų kiaušinėlių ir lervų 0 vnt./kg;
- salmonella bakterijų 0 vnt./kg.

Su kompostais ar anaerobiniais raugais tręšimui naudojama maksimali azoto (N) norma neturėtų būti didesnė kaip 170 kg/ha, fosforo (P) – 40 kg/ha. Gamintojai atsakingi, kad su kompostu ar anaerobiniu raugu neplistų augalų patogenai: parazitiniai grybai, bakterijos, virusai, vabzdžiai, nematodai, kurie gali padaryti nuostolių kompostų vartotojams ir aplinkai.

Žemiau pateiktoje 1.6 lentelėje pateikti atliktų įvairių gyvūnų (ŠGP) mėšlo kompostų ir raugų kokybės ir užterštumo mokslinių tyrimų rezultatai iš „Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimo“ galutinės ataskaitos. Šiems tyrimams buvo imami kompostų ir raugų ėminiai iš žaliųjų atliekų kompostavimo aikštelių, mechaninio – biologinio apdorojimo įrenginių, nuotekų dumblo apdorojimo (kompostavimo, anaerobinio apdorojimo) įrenginių, mėšlo apdorojimo (kompostavimo, anaerobinio apdorojimo) įrenginių, bei kitų biologiškai skaidžių atliekų apdorojimo įrenginių.

**1.6 lentelė.** BSA apdorojimo įrenginių, ėminių objektai (Staugaitis et al. 2016)

Gaminami produktai	Įrenginių pavadinimas	Naudojama (-os) technologija (-os)	Regionas
MK	UAB „Agro linija“	Įvairių gyvūnų mėšlo (IŠGP) ir pašarų likučių maišymas (esant poreikiui – malimas), kompostavimas, granuliavimas	Kaunas
	UAB „Lietuvos žirgynas“ (Riešė)		Vilnius
MR	UAB „Idavang“ kiaulininkystės kompleksas „Sajas“ (Kelmės raj.)	Skysto mėšlo (IŠGP), viešojo maitinimo atliekų, įsk. IŠGP, cukrinių runkelių ir kukurūzų siloso sumaišymas, anaerobinis apdorojimas, išgaunant biodujas	Šiaulių
	UAB „Idavang Pasodėlė“ (Pasodėlės kaimas, Krekenavos sen.)		Panevėžio
	VŠĮ „Alantos technologijų ir verslo mokykla“ (Molėtų r.)		Utenos

Iš kiekvieno įrenginio buvo imama po 3 kiekvieno komposto ir raugo ėminius. Trys ėminiai buvo imami tam, kad būtų išvengta atsitiktinių tyrimų rezultatų dėl atsitiktinės taršos, technologinių sutrikimų ar kitų svarbių faktorių, galinčių pakenkti tyrimų rezultatus, jei būtų imamas tik vienas ėminio egzempliorius.

Atliktų įvairių kompostų ir anaerobinių raugų (irimo atliekų) kokybės rodiklių tyrimų rezultatai pateikti 1.7s lentelėje. Lentelėje pateiktas tirtų įvairių kompostų ir anaerobinių raugų skaičius, minimalios ir maksimalios kokybės rodiklių vertės ir medianos.

**1.7 lentelė.** Tirtų Lietuvoje pagamintų mėšlo kompostų ir mėšlo raugų kokybės rodiklių vertės ir medianos (Staugaitis et al. 2016)

Kompostų kokybės rodikliai	<sup>1,3</sup> Kokie rodikliai yra rekomenduojami vertingam kompostui	<sup>2</sup> Tirtų mėšlo kompostų ir raugų kokybės ir užterštumo vertės: <i>mediana</i> (maksimalios ir minimalios)		<sup>1</sup> Pastaba dėl komposto vertingumo kaip trąšos
		3 MK	3MR	
<b>Tirtų kompostų skaičius</b>				
<b>Kokybės rodikliai</b>				
Sausos medžiagos, %	<21 – >50	<b>60,94</b> (35,3 – 61,0)	<b>3,71</b> (2,3 – 28,41)	MK - labai didelis
Organinės medžiagos, % SM	16 – >45	<b>58,22</b> (24,8-72,4)		labai didelis
Suminis azotas (N), % SM	< 0,5– >2,0	<b>3,49</b> (1,05-14,9)		labai didelis
Suminis fosforas (P), % SM	<0,21 – >0,8	<b>1,04</b> (0,41-1,65)		labai didelis
Suminis kalis (K), % SM	<0,6 – >2,5	<b>1,33</b> (0,9-4,71)		vidutinis
Elektrinis laidis, mS/cm	<0,6 – >2,0*	<b>1,38</b> (1,03-4,78)		MK – didelis; MR - vidutinis
Vandenyje tirpus azotas (N-NO <sub>3</sub> +N-NO <sub>3</sub> ), mg/l NDM	<51 – >200	<b>1079</b> (628– 3687)	<b>502</b> (465– 538)	labai didelis
Vandenyje tirpus fosforas (P), mg/l NDM	<26 – >100	<b>252</b> (78,7– 672)	<b>410</b> (374– 446)	labai didelis
Vandenyje tirpus kalis (K), mg/l NDM	<91 – >300	<b>11756</b> (2263– 22947)	<b>825</b> (675– 975)	labai didelis
Sulfatai (SO <sub>4</sub> ), mg/l NDM	<51 – >300*	<b>1465</b> (656 – 2555)	<b>366</b> (353 – 378)	labai didelis; gali kenkti augalams
Chloridai (Cl), mg/l NDM	<51 – >300*	<b>1205</b> (750 – 7306)	<b>13,3</b> (8,86 – 17,73)	MK – gali kenkti augalams; MR – labai mažas
C:N santykis	<11 – >25	<b>12,14</b> (9-19)		MK – labai mažas MR – mažas
pH <sub>KCl</sub>	<5,6 – >8,5	<b>7,6</b> (7,2-9)		MK – vidutinis MR – didelis
Biologinis skaidumas (stabilumas) pagal ištirpusios organinės anglies koncentraciją, mg/kg SM	≤ 4000	<b>4081</b> (923-11999)		Yra dar nestabilių MK, t.y. kompostavimas neužbaigtas
Piltinis tankis, g/l	Pageidautina, kad kompostai būtų puresni	<b>0640</b> (535 – 945)	Netinkamos konsistencijos	-
<b>Užterštumo sunkiaisiais metalais rodikliai DLK</b>				
Kadmis (Cd), mg/kg SM	1 – 2	<b>0,12</b> (0,019-0,27)		labai didelis
Švinas (Pb), mg/kg SM	50 – 100	<b>2,76</b> (1,21-4)		
Gyvsidabris (Hg), mg/kg SM	0,4 – 1	0		
Chromas (Cr), mg/kg SM	70 – 100	<b>3,11</b>		

		(0,25-6,1)	
Cinkas (Zn), mg/kg SM	400 – 600	<b>96</b> (42-152)	
Varis (Cu), mg/kg SM	100 – 200	<b>17,05</b> (9,3-28,1)	
Nikelis (Ni), mg/kg SM	40 – 60	<b>2,37</b> (0,63-5,5)	

### 1.7 lentelės tęsinys

Mikrobiologinio užterštumo rodikliai				
Fekalinės žarnyno lazdelės (Escherichia coli), kol. sk./g	<1000	<b>10</b> (10 – 10)	<b>10</b> (10 – 10)	labai didelis
Anaerobinės klostridijos (Clostridium perfringens), kol. sk/g	<100 000	<b>30</b> (10 – 140)	<b>14 500</b> (7000 – 22 000)	
Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	0	0	0	
Salmonella bakterijos, vnt./kg	0	0	0	
Nepageidautinos priemaišos				
Stiklas, metalai, plastikas, kai jų dalelių dydis didesnis nei 2 mm	≤0,5% SM	0	0	labai didelis
Daigios augalų sėklos t. sk. gyvybingos piktžolės, šakniastiebiai	≤2 vnt./l	<b>0,65</b> (0,0 – 1,3)	0	
Akmens, didesnis nei 10 mm, skaičiuojant sausu svoriu	≤5%	0	0	

Šioje lentelėje: NDM – natūralaus drėgnio medžiagoje; SM – sausoje medžiagoje; MK – mėšlo kompostas; MR – mėšlo raugas

Pastabos:

<sup>1</sup> (Staugaitis et al., 2016) 4.1 lentelėje pateikti rekomenduojami komposto ar anaerobinio raugo kaip trąšos (produkto) vertingumo rodikliai: 1-oji vertė – labai mažai vertingo komposto, antroji vertė – labai didelio vertingumo komposto; 2.2 lentelėje pateikti rekomenduojami komposto ar anaerobinio raugo kaip trąšos (produkto) užterštumo sunkiaisiais metalais rodikliai: 1-oji vertė – I klasės kompostui (naudojamam žemės ūkyje) antroji vertė – II klasės kompostui (naudojamam energetinių augalų auginimui, rekultivavimui ir pan.); 2.4 lentelėje pateikti rekomenduojami komposto ar anaerobinio raugo kaip trąšos (produkto) užterštumo nepageidautinomis priemaišomis rodikliai

<sup>2</sup> (Staugaitis et al., 2016) 1.3.1 – 1.3.4 lentelėse pateikti tirtų kompostų kokybės ir užterštumo vertinimo rodikliai, įsk. MK – mėšlo kompostų (po aerobinio apdorojimo) bei MR – mėšlo raugo (po anaerobinio apdorojimo);

Apibendrinant 1.7 lentelėje pateiktą informaciją dėl tirtų mėšlo kompostų (MK) ir mėšlo raugų (MR) kokybės ir užterštumo, galima teigti, kad šie gaminami produktai yra didelio vertingumo, tačiau dėl didelių sulfatų ir chloridų kiekių jie gali daryti neigiamą poveikį augalams.

Komposto ir raugo labai mažas užterštumas sunkiaisiais metalais taip pat kelia didelį džiaugsmą, nes visi rodikliai yra žymiai mažesni už ribines vertes (RV) ir kelia komposto, kaip trąšos vertę. Nepageidautinų priemaišų rasta tik viename mėšlo komposte, tačiau šis rodiklis taip pat neviršija siūlomos RV.

### 1.8. Kompostavimo darbams reikalingi mechanizmai ir technika

Technikos ir mechanizmų komposto paruošimui Lietuvos rinkoje yra ganėtinai didelis pasirinkimas. Pasirinkti galima atskiroms kompostavimo technologinėms procesų dalims: komposto kaupų sukrovimui (sustūmimui), perkasimui (vartymui), sėjimui ir panašiai. Renkantis mechanizmus, būtina įvertinti jų tinkamumą dirbti esamomis sąlygomis. Gebėti sukurti palankias mikroorganizmams sąlygas, kad apdoroti turimą žaliavą.

Kompostavimo mechanizavimas priklauso nuo galimos įsigyti ir turimos technikos, kaip mechanizmai yra suderinti atliekamų darbų cikluose. Komposto kaupų formavimui galima pritaikyti pašarų dalytuvus, mėšlo kratytuvus ar agregatus, kurie susmulkintą žaliavą išpučia su oro srove. Krūvas permaišyti galima kaušiniaus auto-krautuvais, gatvių sniego valymui naudojamais rinktuvais ir krautuvais arba ekskavatoriumi pakrauti į mėšlo kratytuvą ir iškratyti. Žinoma, geriausia krūvas permaišyti specialiai komposto kaupų permaišymui skirtais agregatais, bet galima pritaikyti ir savas paprastesnes technologijas. Taip pat reikia komposto sėjimo technikos ir smulkintuvo tam, kad kompostas būtų lengviau dalijamas. Jei kompostu ruošiamasi prekiauti, produkto vertę pakelti galima pateikiant jį rinkai supakuotą, pvz. : skirtingo kiekio maišuose. Tuomet reikėtų įrangos komposto pakavimui.

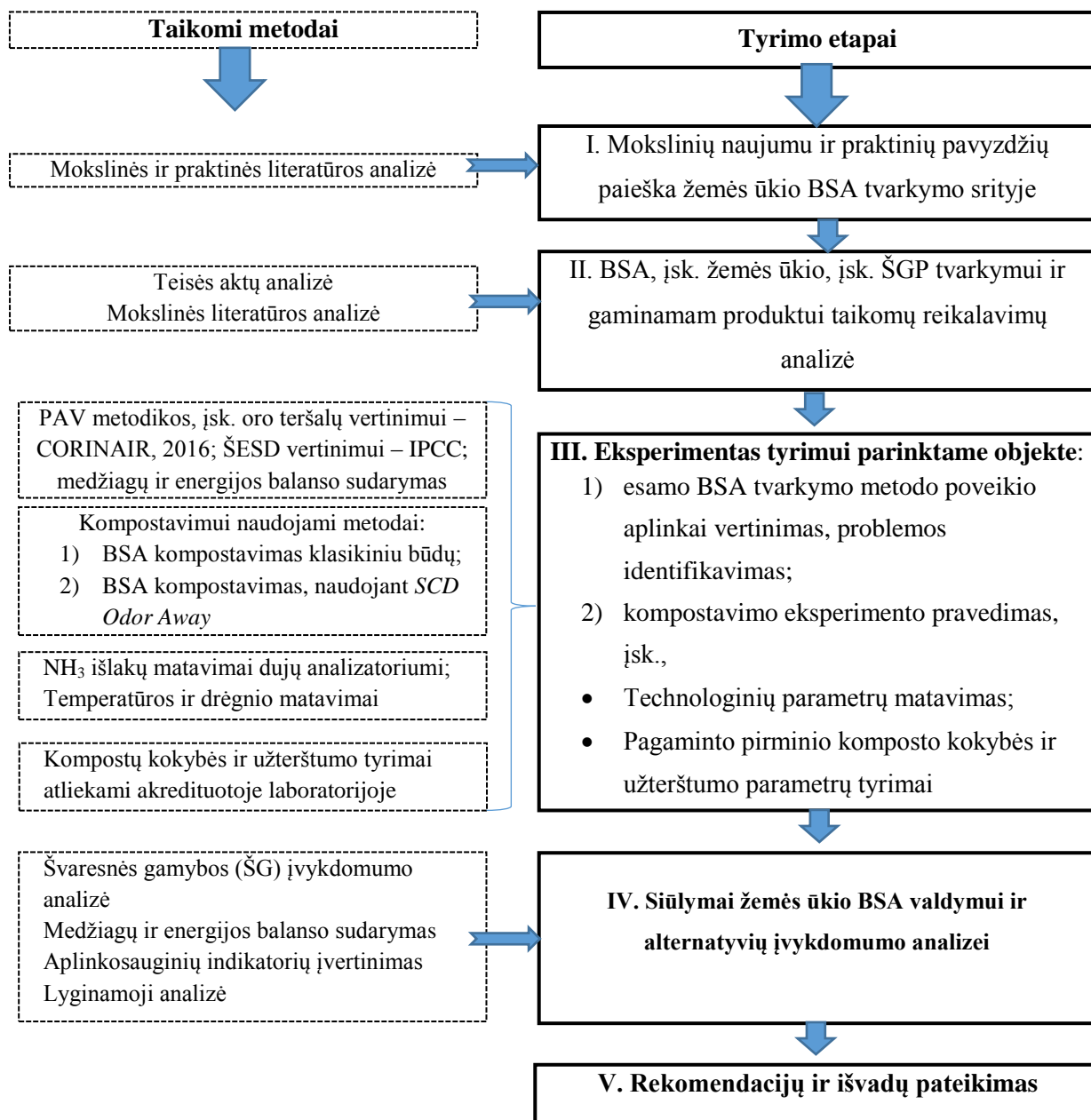
Žinoma yra ir paprastesnių mechanizmų smulkiems ūkiams, galima naudoti nugarinius purkštuvus, komposto kaupo drėkinimui, papildomų medžiagų purškimui ar kt. Tai ganėtinai pigi ir kompaktiška technika, kuri neužima daug vietos, yra ganėtinai lengvas, tvirtas, bei patogus naudoti mažuose ūkiuose. Purkštuvų talpa svyruoja priklausomai nuo techninių savybių, tačiau dažniausiai pasitaikanti talpa siekia apie 20 litrų, todėl norint purkšti didesnį kiekį medžiagos iškyla nepatogumas dažnai pripildyti talpą.



## 2. DARBO METODIKA

### 2.1. Atliekamų tyrimų algoritmas

Magistro baigiamojo projekto darbe atliekamų tyrimų ir taikomų metodų algoritmas pateiktas 2.1 paveiksle.



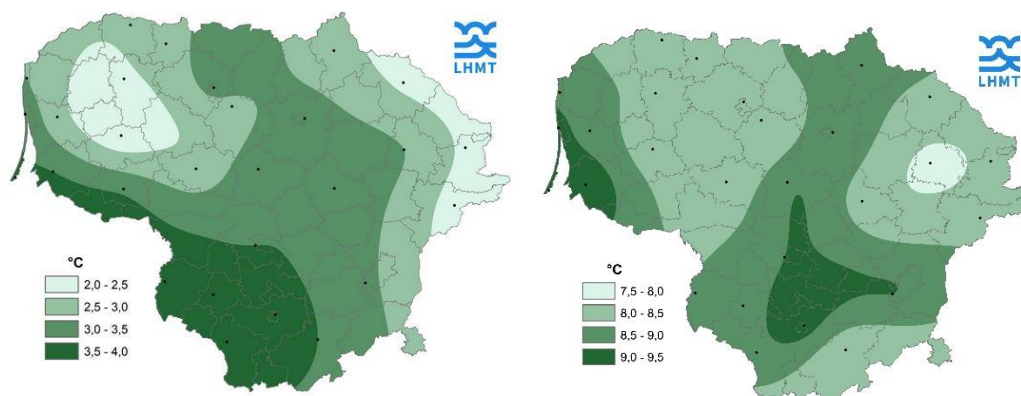
2.1 pav. Magistro baigiamojo projekto atliekamų tyrimų algoritmas ir taikomi metodai

### Pagrindiniai tyrimo etapai (po literatūros analizės):

- eksperimentui parinktame žemės ūkio objekte įvertinti esamo BSA tvarkymo metodo poveikį aplinkai ir nustatyti problematiką;
- žemės ūkio objekte atlikti kompostavimo eksperimentą, kurio metu kompostavimo proceso intensyvumui ir poveikio aplinkai mažinimui naudoti probiotines medžiagas (mikrobiologinius preparatus); vykdyti kompostavimo proceso monitoringą, įsk. NH<sub>3</sub> matavimą;
- paimti pagamintų pirminių kompostų ėminius ir suformuoti mėginius laboratoriniams tyrimams;
- atlikti gautų rezultatų lyginamąją analizę bei, naudojant švaresnės gamybos įvykdomumo analizės metodiką, atlikti aplinkosauginį įvertinimą;
- pateikti rekomendacijas žemės ūkio objektams dėl BSA kompostavimo, naudojant probiotines medžiagas.

## 2.2. Eksperimentui parinkto žemės ūkio objekto charakteristika

Tyrimams buvo pasirinktas žemės ūkio gyvulininkystės ūkis, kuriame laikomos 35 melžiamos (laktuojančios) karvės, kurių vidutinis metinis produktyvumas siekia apie 5000 kg pieno. Karvės laikomos prižištos (t.y. taikomas sartinis laikymo metodas). Tyrimams atlikti buvo naudojamas šviežias galvijų mėšlas, paimtas iš pasirinkto ūkio. Lauko darbų tyrimai pradėti kovo mėnesį, kuomet vidutinė oro temperatūra siekė 2,2-3,7 °C (1.2 Pav.), tokios sąlygos yra palankios mėšlo kompostavimo proceso vykdymui, kuris vykdomas 8 savaites (kovo – mėn.).



2.2 pav. Vidutinė oro temperatūra Lietuvoje kompostavimo eksperimento pravedimo metu: 2019 m. kovo (kairėje) ir balandžio (dešinėje) mėnesiais (www.meteo.lt)

## 2.3. Žemės ūkio objekte susidariusių biologiškai skaidžių atliekų kiekio vertinimas

Visi žino, kad žemės ūkyje, ypačingai gyvulininkystės ūkiuose susidarantys BSA kiekiai yra labai dideli, ir jų mažinimo faktorius beveik neįmanomas, nemažinant gyvulių skaičiaus. Žemiau pateikta formulė (1) apskaičiuoti susidarančių BSA kiekį vienai karvei per metus:

$$M_{BSA} = (M_T + M_S + M_K) \times 12 \text{ mėn.}, \quad (1)$$

čia:

$M_M$  – per mėnesį susidarantis mėšlo kiekis, kg vienai karvei.

$M_S$  – per mėnesį susidarantis srutų kiekis, kg vienai karvei.

$M_K$  – per mėnesį susidarantis kraiko kiekis, kg vienai karvei.

$M_P$  – pakratų kiekis, kg vienai karvei.

$M_T$  – tiršto mėšlo kiekis, kg vienai karvei.

Pakratų ir mėšlo kiekis lygus sumai per mėnesį susidarančio mėšlo ir kraiko kiekiui. Tokiu būdu medžiagų balansui sudaryti galime taikyti žemiau pateiktą formulę (2):

$$M_M + M_S + M_K = M_P + M_T + M_S, \quad (2)$$

čia:

- $M_M$  – mėšlo kiekis – 970 kg/karvei/mėn.;
- $M_S$  – srutų kiekis – 485 kg/karvei/mėn.;
- $M_K$  – kraiko kiekis – 182 kg/karvei/mėn.

Pvz., per mėnesį iš vienos karvės susidaro:  $970 \text{ kg} + 485 \text{ kg} + 182 \text{ kg} = 1\,637 \text{ kg}$  atliekų (Vaičionis, 2013).

Tuomet **usidaro:**

- $M_P$  – pakratų – 76 kg/karvei/mėn.;
- $M_T$  – tiršto mėšlo – 1101 kg/karvei/mėn.;
- $M_S$  – srutų – 460 kg/karvei/mėn.

Taigi, laikant vieną karvę, per metus sukaupiama:  $1\,637 \text{ kg} \times 12 = 19\,644 \text{ kg}$  atliekų.

Galvijų ūkyje susidariusių BSA tūris  $\text{m}^3/\text{m}$ . vertinamas pagal formulę (3):

$$V_{BSA} = (V_T + V_S) \times 12 \text{ mėn.}, \quad (3)$$

čia:

$V_T$  – per mėnesį susidarantis tiršto mėšlo kiekis  $\text{m}^3$  vienai karvei.

$V_S$  – per mėnesį susidarantis srutų kiekis  $\text{m}^3$  vienai karvei.

Pvz., laikant vieną karvę susidaro atliekų:  $1,68 \text{ m}^3 + 0,47 \text{ m}^3 = 2,15 \text{ m}^3/\text{mėn.}$  (Šileika, 2007), čia:

- tiršto mėšlo kiekis ( $V_T$ ) –  $1,68 \text{ m}^3/\text{karvei}/\text{mėn.}$ ;
- srutų kiekis ( $V_S$ ) –  $0,47 \text{ m}^3/\text{karvei}/\text{mėn.}$ ;

Taigi, laikant vieną karvę, per metus sukaupiama:  $2,15 \text{ m}^3 \times 12 = 25,8 \text{ m}^3/\text{m}$ . atliekų.

Gauti BSA kiekio ir tūrio rezultatai pateikti 2.1 lentelėje.

**2.1 lentelė.** susidarančių biologiškai skaidžių atliekų kiekis ir tūris

Gyvulių skaičius	BSA, t/mėn.	BSA, $\text{m}^3/\text{mėn.}$	BSA, t/m.	BSA, $\text{m}^3/\text{m}$ .
1 karvė	1,637	2,15	19,644	25,8

## 2.4 Darbe taikomos metodikos įvertinti oro teršalus ir šiltnamio efektą sukeliančių dujas biologiškai apdorojant žemės ūkio atliekas

Atliekant mokslinių ir taikomųjų (techninių) straipsnių analizę, atrinkta informacija apie oro teršalų emisijų susidarymą, apdorojant žemės ūkio BSA, įsk. ŠGP, tikslu pagaminti įvairius kompostus.

Oro teršalų kiekio įvertinimui naudojamos metodikos, aprašytos: Europos aplinkos agentūros EEA/CORINAIR Oro teršalų inventorizacijos vadove (*Angl. - Air pollutant emission inventory guidebook*) (toliau – CORINAIR vadovas) 3. B skyriuje „*Mėšlo tvarkymas, 2016*“.

Žemiau pateikta metodika įvertinti teršalų kieki, laikant gyvūnų mėšlą mėšlidėse, teršalų emisijų faktoriai pateikti 2.2 lentelėje.

**2.2 lentelė.** Teršalų emisijų faktoriai kg/m. vienam gyvūnui (EEA/CORINAIR, 3.B, 2016)

Gyvūnai	Procesas	NMLOJ, kg/m./ gyv.	NO, kg/m./ gyv.	NH <sub>3</sub> , kg/m./ gyv.	KD, kg/m./ gyv.
Meldžiamos karvės	Mėšlo tvarkymas	17,937	0,236	28,7	1,38
	Srutų tvarkymas	17,937	0,011	39,3	1,38

BSA išlakų į aplinkos orą kiekis priklauso nuo laikomų gyvūnų kiekio. Galvijų ūkio, kuriame auginamos 35 karvės į aplinkos orą išsiskiriančių teršalų kiekio vertinimui naudojama formulė (4.1):

$$E_{\text{teršalo}} = AAP_{\text{gyv.sk.}} \times EF_{\text{teršalo}} \times 10^{-3}, \quad (4.1)$$

čia :

$E_{\text{teršalo}}$  - oro teršalų išlakų kiekis, kg;

$AAP_{\text{gyv. sk.}}$  – laikomų gyvūnų skaičius;

$EF_{\text{teršalo}}$  – teršalo emisijų faktorius (pateikti 2.2. lentelėje) (EEA/CORINAIR,2016).

Metodika įvertinti teršalų kieki, kompostuojant žemės ūkio BSA, pateikta Europos aplinkos agentūros EEA/CORINAIR Oro teršalų inventorizacijos vadove 3. B skyriuje: *Mėšlo tvarkymas*. Oro teršalų emisijos vertinamos pagal 4.2 formulę:

$$E_{\text{teršalo}} = AR_{\text{žaliavos}} \times EF_{\text{NH}_3\text{-N}} \times 17/14, \quad (4.2)$$

čia :

$E_{\text{teršalo}}$  – NH<sub>3</sub> išlakų kiekis kg;

$AR_{\text{žaliavos}}$  – bendras N kiekis kg / BSA; (2.3 lentelė)

$EF_{\text{NH}_3\text{-N}}$  - NH<sub>3</sub>-N emisijų faktorius kiekvienam etapui 0,0009 kg / kg N.

**2.3 lentelė.** Bendras N kiekis kg, kompostuojant 1 kg žemės ūkio BSA (EEA/CORINAIR,2016; Staugaitis et al., 2016)

BSA	kg N/ kg BSA
Galvijų mėšlas	0,0052
Galvijų srutos	0,0052
Pakratai (šiaudai)	0,0051

NH<sub>3</sub> ir CO emisijos skaičiavimas kompostuojant žemės ūkio BSA, atskirai vertinant ŽA emisijas.

**2.4 lentelė.** Oro teršalai, kompostuojant BSA, kg / t BSA (CORINAIR, 2016)

Žaliava	NH <sub>3</sub> kg / t BSA	CO kg / t BSA
BSA kompostas	0,24	-
Žaliosios atliekos	0,66	0,56

Taikoma metodika įvertinti oro teršalų kiekį, deginant dyzelinį kurą kraunant, vartant komposto krūvą vidaus degimo varikliuose, pateikta Europos aplinkos agentūros EEA/CORINAIR Oro teršalų inventorizacijos vadove 1.A.4 skyriuje: „*Ne kelių mobiliosios mašinos*“. Teršalų emisijos vertinamos pagal 5 formulę:

$$EF_{d,k.} = FC_{kuro} \times EF_{t.k.}, \quad (5)$$

čia:

FC<sub>kuro</sub> – dyzelinio kuro sąnaudos t / m. ;

EF<sub>t.k.</sub>– oro teršalo emisijų faktorius (kg/t kuro); plačiausiai Lietuvoje naudojamo - dyzelinio kuro atveju pateiktas 2.3 lentelėje.

**2.5 lentelė.** Oro teršalų emisijų faktoriai, vidaus degimo varikliuose deginant kurą (CORINAIR 2016)

Rodiklis	Oro teršalų emisijų faktoriai, kg/t dyzelinio kuro					
	CO	NH <sub>3</sub>	NMLOJ	NO <sub>x</sub>	KD	SO <sub>x</sub>
EF <sub>K</sub> – vidaus degimo varikliuose deginant kurą,	11,469	0,008	3,542	34,457	1,013	-

Deginant dyzelinį kurą krovinių ir kitų ne kelių transporto priemonių vidaus degimo varikliuose oro teršalai pateikti 2.5 lentelėje.

Pvz., mokslinės literatūros analizės metu nustatyta, kad dyzelinio kuro sąnaudos kompostuojant BSA svyruoja nuo - 0,08 l/t BSA, iki - 1 l/t BSA (priimant tankį – 0,84 kg / l).

Atliekant mokslinės ir taikomosios literatūros analizę, atrinkta informacija apie ŠESD susidarymą, apdorojant žemės ūkio BSA, įsk. ŠGP, tikslu pagaminti įvairius kompostus. Išanalizavus mokslinę literatūrą galime teigti, kad laikymo metu mėšlo ir srutų ŠESD poveikis yra skirtingas, todėl pateikiami rezultatai kiekvienam atskirai. Mėšlo ir srutų laikymui apskaičiuoti ŠESD taikome žemiau pateiktą formulę (6):

$$E_{teršalo} = EF_{\text{ŠESD}} \times BSA \times 10^{-3}, \quad (6)$$

čia:

EF<sub>ŠESD</sub> - emisijų faktorius konkrečiam ŠESD, kg/t BSA;

BSA – apdorojamo BSA kiekis, t;

Mėšlo laikymo metu išsiskiriančios ŠESD, g/kg BSA (Su Lin Lim, 2016; Staugaitis et al. 2016):

CO<sub>2</sub> = 165 g/kg BSA; N<sub>2</sub>O = 10,2 g/kg BSA; CH<sub>4</sub> = 187,3g/kg BSA;

Srutų laikymo metu išsiskiriančios ŠESD, g/kg BSA (Su Lin Lim, 2016; Staugaitis et al, 2016):

CO<sub>2</sub> = 93 g/kg BSA; N<sub>2</sub>O = 12 g/kg BSA; CH<sub>4</sub> = 12 g/kg BSA ;

Apdorojant žemės ūkio BSA, susidaro ir netiesioginis poveikis iš mobilių oro taršos šaltinių (eksploatuojant traktorių) su vidaus degimo varikliu, deginant dyzelinį kurą. Šiam poveikiui apskaičiuoti naudojama metodika aprašyta: Tarpvyriausybinių klimato kaitos komisijos vadovo: „Nacionalinių ŠESD inventoriaus gairės“ (Angl. Intergovernment Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), kurioje apskaičiuoti ŠESD iš mobilių oro taršos šaltinių.

Kompostavimo proceso metu į aplinkos orą išsiskiriančių teršalų iš mobilių oro taršos šaltinių kiekio vertinimui naudojama formulė (7):

$$E_{\text{teršalo}} = EF_{\text{teršalo}} \times K_{\text{dyz.}} \times Q_{\text{ž}} / 1000, \quad (7)$$

čia:

$EF_{\text{teršalo}}$  – ŠESD emisijų faktorius, kg/ TJ dyzelinio kuro:

$EF_{\text{CO}_2} = 74100 \text{ kg/ TJ dyz. kuro (IPCC, 2006)}$ ;

$EF_{\text{CH}_4} = 3,9 \text{ kg/ TJ dyz. kuro (IPCC, 2006)}$ ;

$EF_{\text{N}_2\text{O}} = 3,9 \text{ kg/ TJ dyz. kuro (IPCC, 2006)}$ ;

$K_{\text{dyz.}}$  – tvarkant BSA sunaudojamo kuro kiekis, t/m., pvz.,  $K_{\text{dyz.}}$  eksperimentui parinkame objekte – 0,315 t/m.;

$Q_{\text{ž}}$  – dyzelinio kuro žemutinė šilumingumo vertė – 0,04307 TJ/t.

## 2.5. Eksperimentui naudojama įranga, medžiagos

Kompostavimo eksperimentui formuojami 2 kaupai:

- pirmajame kaupe mėšlas kompostuojamas tradiciniu būdu (atvirai, vartant 2 karus per mėnesį, vartymui naudojant ūkyje esantį traktorių su šakėmis) (gaminamas pirminis kompostas Nr.1);
- antrajame kaupe mėšlas kompostuojamas, naudojant papildomas medžiagas (probiotines kompozicijas – SCD Odor Away) (taip pat atvirai, vartant iki 2 karų per mėnesį, vartymui naudojant tą pačią įrangą; probiotinių kompozicijų purškimui naudojant rankinį - nugarinį purkštuvą, 20 litrų talpos) (gaminamas kompostas Nr.2).

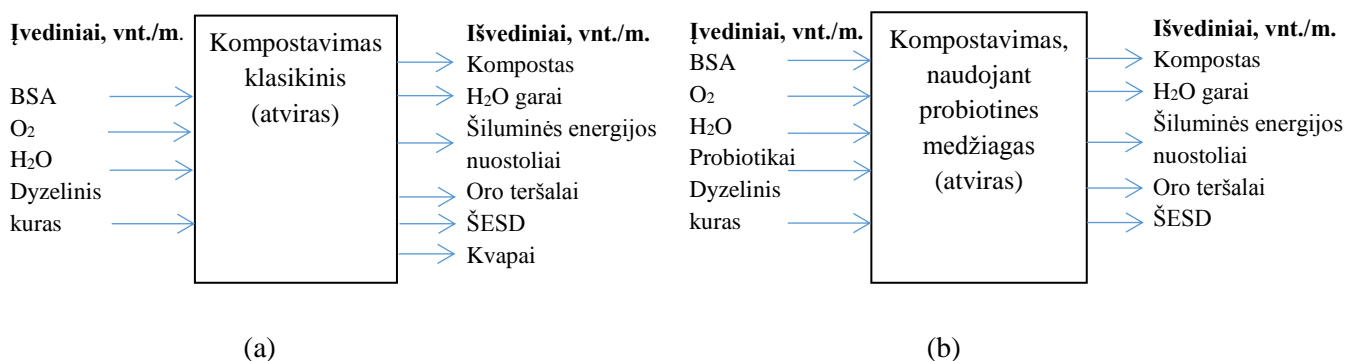
BSA kompostavimas atliekamas 2019 m. kovo - balandžio mėnesiais. Gegužės mėnesį buvo paimti ėminiai ir suformuoti mėginiai laboratoriniams tyrimams.

Formuojant kompostavimo kaupus, labai svarbus faktorius – turimų BSA kiekis. Nuo susikaupiamų žemės ūkio BSA priklausys ir kompostų kaupų dydis.

Vadovaujantis miško apsaugos tarnybos parengtomis rekomendacijomis [19], mėšlo kompostui gaminti, rekomenduojamas komposto kaupo aukštis yra nuo 1,2 iki 1,5 metro, pločiui taikomos rekomendacijos nuo 2,5 iki 3 metrų, taip pat kaupo viršaus pločiui rekomenduojama skirti nuo 0,6 iki 1 metro. Komposto kaupo ilgis, priklauso nuo tręšiamo ploto dydžio, kuo plotas didesnis, tuo ilgesnis kaupas turi būti, tačiau rekomenduojamas minimalus 3 metrų ilgis. Šių rekomendacijų laikomasi, atliekant eksperimentą.

## 2.6. Žemės ūkio biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo proceso medžiagų ir energijos srautai

Pagal 2.3 – 2.6 poskyriuose pateiktas formules atlikti skaičiavimai apie kompostavimo procesų medžiagų ir energijos srautus bus susisteminti į medžiagų ir energijos balansus, kurių formos pateiktos 2.3 paveiksle. Medžiagų ir energijos balansas įgalina lengviau įvertinti visų srautų absoliučius aplankos apsaugos indikatorius (AAI) (vnt./metus ir vnt./analizuojamą laikotarpį), kurių lyginamoji analizė bus naudojamas įvertinti siūlomos inovacijos aplinkosaugos naudą (Staniškis et al., 2010). Santykinų AAI (vnt./t gaminamo komposto) palyginimas gali būti naudojamas įvertinti siūlomos inovacijos aplinkosauginį veiksmingumą.



2.3 pav. Kompostavimo procesų medžiagų ir energijos srautų balanso sudarymo forma

(a) – kai kompostuojama klasikiniu būdu, (b) – kai kompostuojama, naudojant probiotines medžiagas

## 2.7. Kompostavimo technologinių parametru ir gaminamo komposto kokybės ir užterštumo nustatymas

Tyrimo metu buvo matuojami šie parametrai:

- kompostavimo proceso temperatūra (BSA kaupuose);
- kompostuojamų kaupė BSA ir pagaminto komposto drėgmė;
- kompostavimo metu išsiskiriančių NH<sub>3</sub> dujų koncentracija (ppm; perskaičiuojant į mg/m<sup>3</sup>);
- pagamintų kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai (mėginiai vežami analizei į akredituotą LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratoriją) [21].

Tyrimė analizuojami 1-ojo pagaminto pirminio komposto kokybės rodikliai (pagal Staugaitis et al., 2016): sausos medžiagos (SM) kiekis, %; organinės medžiagos (OM) kiekis, % SM; suminio azoto (N), fosforo (P) ir kalio (K) kiekis, % SM; vandenyje tirpus azoto (N-NO<sub>3</sub>+N-NO<sub>3</sub>), fosforo (P) ir kalio kiekis, mg/l NDM; sulfatų (SO<sub>4</sub>) ir chloridų (Cl) kiekis, mg/l NDM, pH ir biologinis skaidumas pagal ištirpusios C<sub>org.</sub>, mg/kg SM.

Tyrimė analizuojami 2-ojo komposto kokybės rodikliai: suminio azoto (N) kiekis, % SM; suminio fosforo (P) kiekis, % SM; suminio kalio (K) kiekis, % SM; pH ir biologinis skaidumas pagal ištirpusios C<sub>org.</sub>, mg/kg SM.

Tyrimė analizuojami 1-ojo pagaminto pirminio komposto užterštumo rodikliai: sunkiųjų metalų koncentracija (Cd, Pb, Hg, Cr, Zn, Cu, Ni), mg/kg SM; mikrobiologinis užterštumas: fekalinių žarnyno lazdelių (E-coli), kol. sk./g; anaerobinių klostridijų (*Clostridium perfringens*), kol. sk./g, Helmintų kiaušinėlių ir lervos,

vnt./kg, Salmonellos bakterijos, vnt./kg. 2-ajam kompostui buvo analizuotas tik mikrobiologinis užterštumas: fekalinių žarnyno lazdelių (E-coli), kol. sk./g; anaerobinių klostridijų (Clostridium perfringens), kol. sk/g.

Kompostavimo proceso temperatūra ir drėgmė kaupe matuota hidrometru/termometru su laidu. Termometre naudojama Celsijaus temperatūros skalė, drėgmė matuojama procentais. Temperatūros matavimo ribos: nuo -50 °C iki +70 °C; drėgmės matavimo skyra – 1% (žr. 2.4 pav.). Šiuo termometru galima matuoti temperatūrą ir drėgmę kaupe iki 40 cm gylio.



2.4 pav. Naudotas hidrometras – termometras

NH<sub>3</sub> išlakų matavimai atliekami dujų analizatoriumi „MX6 iBrid“ (Jungtinės valstijos) (žr. 2.5 pav.). Rezultatai gauti ppm ir perskaičiuojami į mg/m<sup>3</sup>, naudojant formulę (8), pateikta HN 23:2011 [20]:

$$C = (C_{(\text{ppm})} \times M_r) / 24,04, \quad (8)$$

čia

C – cheminės medžiagos koncentracija, mg/m<sup>3</sup>;

M<sub>r</sub> – molekulinė cheminės medžiagos masė, g/mol, pvz., M<sub>r</sub> (NH<sub>3</sub>) = 14,0067 + 3 x 1.00784 = 17,030 g/mol

24,04 – molinis tūris (l/mol), esant 20 °C temperatūrai ir 101,3 kPa slėgiui.

NH<sub>3</sub> matavimai buvo atlikti kartu su organizacija, kuri turi leidimą išmatuoti NH<sub>3</sub> aplinkos ore ir iš stacionarių oro taršos šaltinių. Matavimai atlikti 3 valandų bėgyje, matuojant kas 10 min. Gauti rezultatai pateikti išvedus matavimų vidurkį.



2.5 pav. Dujų analizatorius „MX6 iBrid“



## **2.8. Pagamintų kompostų ėminių paėmimas, mėginių formavimas**

Pagrindinis ėminiui keliamas reikalavimas – jis turi būti paimtas iš kelių vietų, tam, kad atspindėtų norimo ištirti objekto charakteristikas (Staugaitis et al., 2016). Iš ėminių formuojamas mėginys laboratoriniams tyrimams. Svarbu suformuoti kelis mėginių pavyzdžius tam, kad „būtų išvengta pasitaikiusių tyrimų netikslumų, ar būtų panaudojami prireikus pakartotinių tyrimų“ (Staugaitis et al., 2016).

Svarbu, kad imami ėminiai būtų iš skirtingų objekto vietų tam, kad būtų suformuoti kokybiški mėginiai. Pagamintų pirminių kompostų (Nr.1 ir Nr.2) laboratorinei analizei mėginiai buvo formuojami, imant ėminus iš kiekvieno kaupo 5 vietų. Iš viso buvo suformuoti 4 mėginiai: 2 - pirminis kompostas Nr.1, pagamintas klasikiniu būdu, 2 – pirminis kompostas Nr.2, pagamintas, naudojant mikrobiologinius preparatus (probiotines medžiagas).

### 3. TYRIMO REZULTATAI, ANALIZĖ IR APIBENDRINIMAS

#### 3.1. Eksperimentui parinkto žemės ūkio objekto biologiškai skaidžių atliekų tvarkymo poveikio aplinkai vertinimo rezultatai

##### Žemės ūkio objekte susidarančių BSA kiekio ir tūrio įvertinimas

Eksperimentui pasirinktas gyvulininkystės ūkis, kuris yra Utenos regione, jame laikomos 35 melžiamos (laktuojančios) karvės, kurių kiekvienos vidutinis metinis produktyvumas siekia apie 5000 kg pieno. Eksperimentas pradėtas kovo mėnesio pradžioje, kai vidutinė oro temperatūra siekė apie 3 °C. Eksperimentui naudojamos ūkyje susidarančios BSA (mėšlo, srūtų ir kraiko mišinys). Eksperimentas atliekamas ūkiui priklausančiose žemės plotuose, nes planuojama pagamintą kompostą panaudoti ūkiui priklausančių žemių tręšimui.

Taikant metodikoje pateiktas 1 ir 3 formules, įvertintas žemės ūkyje per metus susidarančių BSA kiekis ir tūris, gauti rezultatai pateikti 3.1 lentelėje.

Susidarančių BSA kiekis nustatomas pagal 1 formulę. Per mėnesį iš vienos karvės susidaro: 1 637 kg atliekų (Vaičionis, 2013). Ūkyje per mėnesį susidarys: 57 295 kg atliekų. Per metus ūkyje susidaro: 687 540 kg atliekų.

Per metus susidarančių žemės ūkio BSA tūrio apskaičiavimui naudojama 3 formulė. Jei laikoma viena karvė, per mėnesį susidaro: 2,15 m<sup>3</sup> atliekų (Šileika, 2007). Taigi tyrimo objekte per mėnesį susidaro: 75,25 m<sup>3</sup> atliekų. Ūkyje per metus susidaro: 903 m<sup>3</sup> atliekų.

#### 3.1 lentelė. BSA kiekio ir tūrio eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje įvertinimas, vnt. per metus

Gyvuliai	Gyvulių skaičius	<sup>1</sup> Susidarančių BSA kiekis, kg/m.	<sup>2</sup> Susidarančių BSA kiekis, m <sup>3</sup> /m.
Melžiama karvė, produktyvumas 5000 kg pieno, saitinis laikymas	1	19 644	25,8
	35	687 540	903

Pastabos: <sup>1</sup>BSA kiekis kg/m. įvertintas naudojant formulę (1); <sup>2</sup>BSA tūris m<sup>3</sup>/m. įvertintas naudojant formulę (3).

Kadangi ūkis yra ganėtinai mažas, susidarančios BSA yra kaupiamos ir laikomos mėšlidėje (3.2. lentelė) iki 6 mėnesių. Esant labai lietingam orui, mėšlidle uždengiama plėvele. Pavasarį, kuomet teisės aktais nustatyta tvarką jau galima tręšti laukus, sukauptomis BSA yra tręšiami laukai. Toks metodas reikalauja mažų kaštų atliekų tvarkymui, bet darbo labai didelį poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai.

##### Poveikis aplinkai BSA tvarkymo metu eksperimentui parinktoje įmonėje

Naudojant aprašytą metodiką, įvertinami išmetimai į aplinkos orą žemės ūkio BSA apdorojant aerobiniu būdu. BSA oro teršalų kiekis priklauso nuo ūkyje laikomų gyvulių kiekio.

Naudojant darbo metodikoje pateiktą 4.1 formulę, įvertinami oro teršalai, kurie susidaro eksperimentui parinktoje įmonėje auginant 35 melžiamas karves, jų BSA (mėšlą, srūtas) laikant mėšlidėje ir už 6 mėn. skleidžiant laukuose:

- oro teršalų emisijos dėl esamo mėšlo tvarkymo metodo:

$E_{MNLOJ} = 628 \text{ kg/m.}; E_{NO} = 8,26 \text{ kg/m.}; E_{NH_3} = 1004,5 \text{ kg/m.}; E_{KD} = 48,3 \text{ kg/m.}$

- Oro teršalų emisijos dėl esamo srūtų tvarkymo metodo:

$E_{MNLOJ} = 628 \text{ kg/m.}; E_{NO} = 0,39 \text{ kg/m.}; E_{NH_3} = 1375,5 \text{ kg/m.}; E_{KD} = 48,3 \text{ kg/m.}$

Ūkyje BSA tvarkymui (mėšlo krovimui į mėšlides ir kitiems tikslams) naudojamas traktorius „Zetor Utilix HT 45“, kurio galia – 31,4 kW. Traktorius per vieną valandą sunaudoja – 3,124 l dyzelinio kuro. Mėšlas iš tvarto į mėšlides yra kraunamas kartą per savaitę, traktoriaus darbo laikas – 10 valandų per mėnesį, 120 valandų per metus. Taigi per metus sunaudojama – 375 l arba apie 0,315 t dyzelinio kuro.

Taikant metodikoje pateiktą 5 formulę, apskaičiuojamos oro teršalų emisijos iš mobilaus taršos šaltinio, tvarkant BSA:

$EF_{CO} = 3,6 \text{ kg/m.}; EF_{NH_3} = 0,003 \text{ kg/m.}; EF_{NMLOJ} = 1,1 \text{ kg/m.}; EF_{NO_x} = 10,9 \text{ kg/m.}; EF_{KD} = 0,3 \text{ kg/m.}$

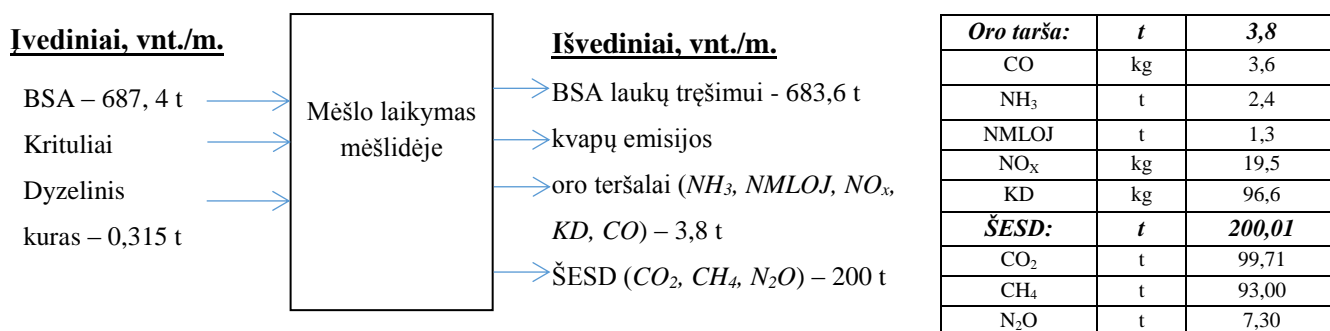
Vertinamas ŠESD poveikis, laikant žemės ūkio BSA mėšlidėje, naudojant metodikoje pateiktą 6 formulę:

- laikant mėšlą:  $CO_2 = 79,8 \text{ t/m.}; N_2O = 4,9 \text{ t/m.}; CH_4 = 90,6 \text{ t/m.}$
- laikant srūtas:  $CO_2 = 18,9 \text{ t/m.}; N_2O = 2,4 \text{ t/m.}; CH_4 = 2,4 \text{ t/m.};$

ŠESD emisijos iš mobilaus oro taršos šaltinio vertinamos, naudojant metodikoje pateiktą 7 formulę:

$E_{CO_2} = 1,01 \text{ t/m.}; E_{CH_4} = 0,05 \text{ kg/m.}; E_{N_2O} = 0,05 \text{ kg/m.};$

Visi kiekybiškai vertinti medžiagų ir energijos srautai pateikti 3.1 paveiksle.



3.1 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių BSA tvarkymo proceso medžiagų ir energijos srautų balansas

Identifikuotos aplinkosaugos problemos:

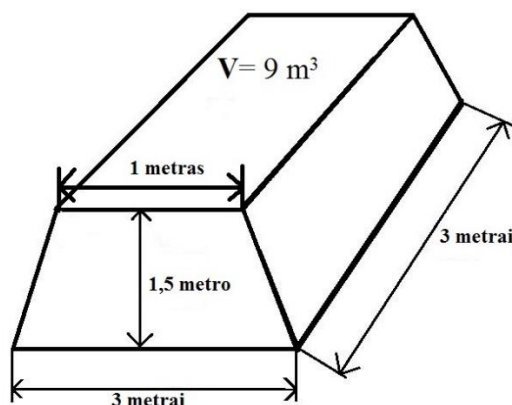
- Eksperimento parinktame gyvulininkystės ūkyje tvarkant 35 karvių BSA (mėšlą ir srūtas), naudojant Lietuvoje plačiausiai taikomą metodą – laikymą mėšlidėje ir laistymą laukuose po apyt. 6 mėn. laikymo, į aplinkos orą kasmet patenka iki 3,8 t oro teršalų (arba 108,6 kg/karvei), didžioji dalis kurių NH<sub>3</sub> – iki 2,4 t/m. ir NMLOJ – iki 1,3 t/m. bei virš 200 t ŠESD (arba iki 5,7 t/karvei).
- Nemalonūs kvapai – didelį diskomfortą kelianti problema; jie sklinda ir laikant mėšlą mėšlidėje, daugiausia – paskleidžiant laukuose.

### 3.2. Kompostavimo eksperimento eiga, rezultatų analizė ir išvados

Išanalizavus mokslinę ir praktinę literatūrą, ir nustatčius, kad esamas žemės ūkio BSA tvarkymas mėšlidėje kelia poveikį aplinkos oro kokybei ir klimato kaitai, siūloma šias atliekas apdoroti biologiniu būdu, jas

kompostuojant. Papildomai, tikslu sumažinti poveikį aplinkai ir gaminti aukštesnės pridėtinės vertės produktą, siūloma kompostavimui naudoti mikrobiologinį preparatą *SCD Odor Away*. Šio preparato praskiedimui naudojamas vanduo. Taip pat kompostavimui naudojamas dyzelinis kuras: kaupų formavimui bei vartymui.

Kaip buvo minėta tyrimų metodikoje, formuojant kaupus, svarbus BSA kiekis, nes nuo sukauptų BSA priklauso kaupų kiekis. Taikant rekomendacijas šiuo atveju darbe priimtas 1,5 m kaupo aukštis, 3 m plotis, 3 m ilgis. Rekomenduojama, kad kaupo šonai palaiapsniui į viršų siaurėtų, todėl priimamas kaupo viršaus plotis - 1 metras (žr. 3.2 paveikslą). Laikantis tokių rekomendacijų, sukrautas kaupas suformuojamas trapecijos forma, dėl ko komposto medžiagos turėtų laikytis ir nebyrėtų.



3.2 pav. Eksperimento metu formuojamų kaupų parametrai

Kaip buvo minėta tyrimų metodikoje, eksperimentui parinkti du kompostavimo variantai:

- 1 variantas: tradicinis mėšlo su šiaudais atviras kompostavimas natūraliomis sąlygomis (gaminamas pirminis kompostas Nr.1);
- 2 variantas: mėšlo su šiaudais atviras kompostavimas, naudojant probiotines medžiagas *SCD Odor Away* (gaminamas kompostas Nr.2).

Įvertinta, kad pagal siūlomas rekomendacijas suformuotame viename kaupe laikoma iki 9 m<sup>3</sup> BSA arba iki 6,85 t.

Kaupo drėgmės, temperatūros parametrai buvo matuoti 3 kartus, NH<sub>3</sub> - 2 kartus per visą eksperimento laikotarpį. Gauti rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

Komposto drėgmės ir temperatūros matavimams pasirinktos 5 vietos komposto krūvoje. Matavimai atlikti, darant du pakartojimus ir išvedant gautų rezultatų vidurkius. Kadangi matavimo prietaisų maksimalus jutiklis siekia tik 0,4 metro, atliekant matavimus giliau (iki 1 – 1,2 m gylio) esančiuose matavimų taškuose, viršutinis komposto krūvos sluoksnis kiekvieną kartą buvo pastumiamas kastuvu, kad būtų lengviau pasiekti matavimo tašką kaupe.

Išsiskiriančių NH<sub>3</sub> dujų matavimai vykdyti dujų analizatoriumi „MX6 iBrid“. Matavimai vykdyti du kartus per analizuojamąjį laikotarpį, vadovaujant leidimą matuoti NH<sub>3</sub> turinčiai įmonei. Gauti rezultatai iš ppm buvo perskaičiuoti į koncentracijos vienetus, naudojant tyrimo metodikoje pateiktą 8 formulę.

### 3.2 lentelė. Kompostų kaupų parametų matavimų duomenys

Matavimų diena	1 kompostavimo variantas (be probiotinių medžiagų)			2 kompostavimo variantas (su probiotinėmis medžiagomis)		
	Temperatūra °C	Drėgmė %	NH <sub>3</sub> mg/ m <sup>3</sup>	Temperatūra °C	Drėgmė %	NH <sub>3</sub> mg/ m <sup>3</sup>
10 dieną (kovo 12 d.)	45,8	58	2,83	63,7	60	2,04
35 dieną (balandžio 6 d.)	55,5	50	-	45,3	45	-
63 dieną (gegužės 4 d.)	20,6	39	1,42	20,1	40	0,18

Ėminių paėmimo ir 4 mėginių formavimo eigos aprašymas pateiktas tyrimo metodikos 2.8 poskyryje. Pagamintų kompostų (2 mėginiai – 1 komposto, 2 mėginiai – 2 komposto) kokybės ir užterštumo rodikliai ištirti akredituotoje Agrocheminių tyrimų laboratorijoje.

Kompostų mėginiams iš pirmojo komposto kaupo, kuomet yra kompostuojama tradiciniu būdu, laboratoriniai tyrimai atlikti beveik visiems kokybės ir užterštumo rodikliams; kompostų mėginiams iš antrojo kaupo, kai naudojamos probiotinės (mikrobiologinės) medžiagos, atlikti laboratoriniai tyrimai, kuriuos galima įtakoti papildomų medžiagų naudojimas. Gauti laboratorinių tyrimų duomenys susisteminti ir pateikti 3.3 lentelėje.

### 3.3 lentelė. Eksperimente pagamintų pirminių kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai

Kompostų kokybės ir užterštumo rodikliai	Eksperimentui parinktame ūkyje pagaminto komposto rodikliai (mėginių rezultatų vidurkis)		Pastaba dėl kompostų vertinimo kaip produkto - trąšos
	<i>be probiotinių medžiagų</i>	<i>su probiotinėmis medžiagomis</i>	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Tirti kokybės rodikliai</b>			
Sausos medžiagos, %	61,98	n*	labai didelis (>50%)
Organinės medžiagos, % SM	58,12	n*	labai didelis (>45%)
Suminis azotas (N), % SM	2,52	3,28	labai didelis (>2%); padidėjo 31 %
Suminis fosforas (P), % SM	0,88	1,76	labai didelis (>0,8%); padidėjo dvigubai
Suminis kalis (K), % SM	3,70	4,41	labai didelis (>2,5%); padidėjo 19,2 %
Vandenyje tirpus azotas (N-NO <sub>3</sub> +N-NO <sub>3</sub> ), mg/l NDM	763	n*	labai didelis (>200 mg/l)
Vandenyje tirpus fosforas (P), mg/l NDM	252	n*	labai didelis (>200 mg/l)
Vandenyje tirpus kalis (K), mg/l NDM	17352	n*	labai didelis (>300 mg/l)
Sulfatai (SO <sub>4</sub> ), mg/l NDM	2010	n*	labai didelis (>300 mg/l)
Chloridai (Cl), mg/l NDM	4255	n*	labai didelis (>300 mg/l)
C:N santykis	9,9	n*	labai mažas (<11)
pH <sub>KCl</sub>	8,1	8,3	šarmingas
Biologinis skaidumas pagal ištirpusios C <sub>org.</sub> , mg/kg SM	7054	3129	Be probiotikų > 4000 mg/kg – nestabilus, su probiotikais < 4000 – stabilus
<b>Tirtas užterštumas sunkiaisiais metalais</b>			
Kadmio (Cd), mg/kg SM	0,25	n*	labai didelis, nes sunkiųjų metalų koncentraciją n kartų < DLK 1 klasės (arba I kategorijos) kompostams kaip produktams
Švinas (Pb), mg/kg SM	3,25		
Gyvsidabris (Hg), mg/kg SM	0		
Chromas (Cr), mg/kg SM	1,0		
Cinkas (Zn), mg/kg SM	149		
Varis (Cu), mg/kg SM	26,1		
Nikelis (Ni), mg/kg SM	3,42		

### 3.3 lentelės tęsinys

<i>Tirtas mikrobiologinis užterštumas</i>			
Fekalinės žarnyno lazdelės ( <i>Escherichia coli</i> ), kol. sk./g	$<1,0 \times 10^1$ ( $<10$ )	$<10$	Užterštumas neviršija DLK ( $<1000$ kol. sk./g)
Anaerobinės klostridijos ( <i>Clostridium perfringens</i> ), kol. sk/g	$<2,2 \times 10^4$ (22 000)	$<10$	Užterštumas neviršija DLK ( $<100\ 000$ kol. sk./g); sumažėjo naudojant probiotines medžiagas
Helmintų kiaušinėliai ir lervos, vnt./kg	nerasta	n*	-
Salmonella bakterijos, vnt./kg	nerasta	n*	-

Pastabos: n\* - nebuvo tirta; \*\*gali kenkti augalams

Atkreiptinas dėmesys, kad kompostavimo procesai buvo vykdomi ganėtinai trumpą laiką (2 pavasario mėnesius), tačiau gauti tyrimų rezultatai džiugina.

Kompostuojant tradiciniu būdu, po 2 mėnesių komposte randamas nedidelis mikrobiologinis užterštumas: anaerobinių klostridijų koncentracija – 22 000 kol. sk./g, tačiau ji neviršija ribinės vertės ( $<100\ 000$  kol. sk/g). Anaerobinių klostridijų beveik nerasta 2-me komposte, kai buvo naudotos probiotinės medžiagos (tik iki 10 kol sk./g). Taip pat pastebima, kad pirmasis kompostas po 2 mėnesių yra dar nestabilus (t.y. dar nesibaigė biodegradavimo procesas), kadangi ištirpusios  $C_{org}$  koncentracija – didesnė nei 4000 mg/kg SM. Šis pirminis kompostas dar turi būti brandinamas. Paprastai, Lietuvos sąlygomis pirminis kompostas brandinamas iki 2 mėnesių (Staniškis et al., 2017). Tuo tarpu antrasis kompostas yra stabilus ( $C_{org}$  koncentracija  $< 4000$  mg/kg SM), jis gali būti saugiau naudojamas laukų tręšimui, nedidinant poveikio aplikai dėl  $NH_3$  ir NMLOJ išsiskyrimo. Taip pat antrasis kompostas pasižymi didesniais suminio azoto (N), fosforo (P), kalio (K) kiekiais (žr. 3.3 lentelę).

Taigi galima teigti, kad kompostai, pagaminti iš galvijų mėšlo, pagal visus ištirtus komposto kaip trąšos kokybės rodiklius pasižymi labai dideliu vertingumu ir yra neužteršti sunkiaisiais metalais, užterštumas mikrobiologine tarša neviršija leistinų ribų, nustatytų teisės aktuose. Ši išvada, analizuojant mėšlo kompostavimą tradiciniu būdu, atitinka kitų mokslininkų atliktų tyrimų analizės rezultatus (Staugaitis et al.2011, 2016).

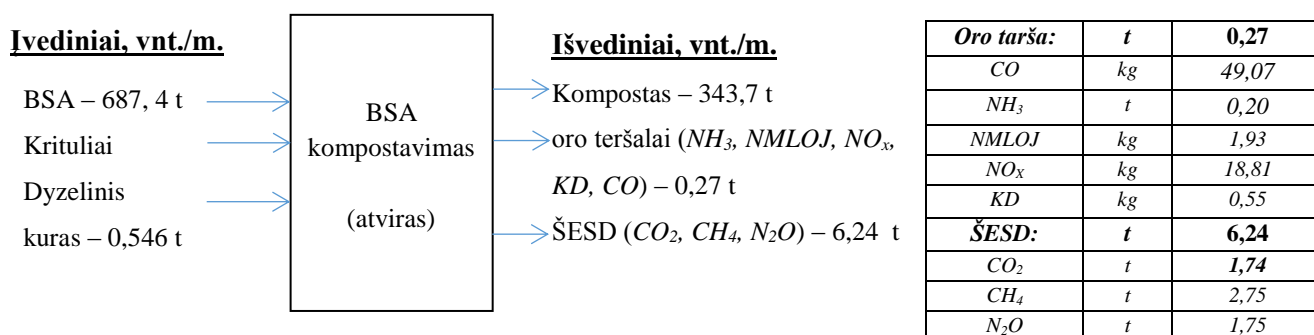
Pagrindiniai eksperimento metu gauti rezultatai pateikti lentelėje žemiau.

**3.4 lentelė.** Kompostavimo eksperimento metu gautų stebimų parametų lyginamosios analizės rezultatai

	$NH_3$ mg/m <sup>3</sup>	Suminis azotas komposte (N), % SM	Suminis fosforas (P), % SM	Suminis kalis (K), % SM	Biologinis skaidumas pagal ištirpusios $C_{org}$ . Mg/ kg SM
1 kompostavimo variantas (be probiotinių medžiagų)	1,42	2,52	0,88	3,70	7054
2 kompostavimo variantas (su probiotinėmis medžiagomis)	0,18	3,28	1,76	4,41	3129
<b>Išvada dėl probiotinių medžiagų naudojimo</b>	Aamoniako emisijos sumažėja 87,6 proc.	Suminio N kiekis komposte padidėjo 31 proc,	Suminio fosforo kiekis padidėjo dvigubai	Suminio kalio kiekis padidėjo 19,2 proc.	Per 2 mėn. pagaminamas stabilus kompostas

### 3.3. Kompostavimo alternatyvų įvykdomumo analizė

#### Tradicinio atviro kompostavimo aplinkosauginis įvertinimas



3.3 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių

BSA siūlomo kompostavimo proceso medžiagų ir energijos srautų balansas

#### **$NH_3$ emisijų skaičiavimas kompostuojant žemės ūkio BSA**

$NH_3$  emisijos gali susidaryti BSA laikymo metu prieš kompostavimą ir kompostavimo pradžioje. Analizuojant  $NH_3$  emisijas, kurios susidaro kompostavimo proceso pradžioje, naudojama  $EF_{NH_3-N_i}$  reikšmė BSA (žaliavų) laikymui – 0,0009 kg/kg N (CORINAIR, 2016); azoto kiekis žemės ūkio BSA naudojamas iš 2.3 lentelėje pateiktų duomenų. Šiuo atveju  $NH_3$  emisijos vertinamos pagal 4.2 formulę. Apskaičiuojamas susidarančių BSA kiekis, nuo kurio bus vertinamos  $NH_3$  emisijos:

- mėšlo kiekis: 407,4 t/m.;
- srutų kiekis: 203,7 t/m.;
- pakratų kiekis: 76,44 t/m.

$NH_3$  emisijos dėl galvijų mėšlo laikymo prieš kompostavimą:  $E_{NH_3-mėšlas} = 2,315$  kg/m.

$NH_3$  emisijos dėl galvijų srutų laikymo prieš kompostavimą:  $E_{NH_3-srutos} = 1,158$  kg/m.

$NH_3$  emisijos dėl pakratų laikymo prieš kompostavimą:  $E_{NH_3-pakratai} = 0,426$  kg/m.

Kompostuojant,  $NH_3$  emisijos susidaro tik pirmąją savaitę po kaupo suformavimo (Staugautis et al., 2016). Tačiau yra žinoma, kad didžioji dalis  $NH_3$  emisijų į aplinką patenka nekompostuoto mėšlo paskleidimo laukuose metu. Kas buvo įrodyta 3.2 poskyryje.

$NH_3$  ir  $CO$  emisijų dėl įvertintų BSA kompostavimo vertinimas atliekamas, naudojant metodikoje 2.4 lentelėje pateiktas emisijų faktorius:

- kompostuojant pakratų (kaip ŽA):  $E_{NH_3} = 50,45$  kg/m.;  $E_{CO} = 42,81$  kg/m.
- kompostuojant kitus BSA:  $E_{NH_3} = 146,66$  kg/m.

Toliau vertinamas poveikis aplinkos orui dėl dyzelinio kuro sąnaudų, eksploatuojant traktorių, kraunant kompostuojamų atliekų kaupus, bei juos vartant 2 kartus per mėnesį. Oro teršalų emisijų faktoriai, deginant dyzelinį kurą krovinių ir kitų ne kelių transporto priemonių vidaus degimo varikliuose, pateikti tyrimo metodikos 2.5 lentelėje. Ūkyje naudojamas traktorius „Zetor Utilix HT 45“, traktoriaus galia - 31,4 kW.

Dyzelinio kuro žemutinė šilumingumo vertė  $Q_{\text{ž}} = 43,07$  GJ/t. Traktorius sunaudoja 3,124 l/val. dyzelinio kuro. Traktorius prie kompostavimo procesų dirba apie 4 valandas per savaitę arba 208 val./m., tokiu būdu kuro sąnaudos kompostavimui sudarys 650 l/m. arba 0,546 t.

Oro teršalų emisijos vertinamas, taikant 5 formulę;

$EF_{\text{CO}} = 6,26$  kg/m.;  $EF_{\text{NH}_3} = 0,004$  kg/m.;  $EF_{\text{NMLOJ}} = 1,93$  kg/m.;  $EF_{\text{NO}_x} = 18,81$  kg/m.;  $EF_{\text{KD}} = 0,55$  kg/m.

ŠESD, kompostuojant BSA, vertinamas, naudojant IPCC, 2006 metodikoje pateiktą formulę ir emisijų faktorius BSA kompostavimui:  $\text{CH}_4 - 4$  g/kg BSA,  $\text{N}_2\text{O} - 0,24$  g/kg BSA;  $\text{CO}_2$  nevertinama dėl BSA biogenės kilmės:  $\text{CH}_4 = 2,75$  t/m.;  $\text{N}_2\text{O} = 1,75$  t/m.

ŠESD emisijos iš mobilaus oro taršos šaltinio vertinamos, naudojant metodikoje pateiktą 7 formulę:

$E_{\text{CO}_2} = 1,74$  t/m.;  $E_{\text{CH}_4} = 0,09$  kg/m.;  $E_{\text{N}_2\text{O}} = 0,09$  kg/m.

### 3.5 lentelė. Pirmos BSA kompostavimo alternatyvos aplinkos apsaugos efekto vertinimas

Proceso medžiagų ir energijos srautai	vnt.	Aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI), vnt./m		(+/-) Sutaupoma/sumažėja (-) nesutaupoma/padidėja		
		Esama situacija (BSA laikymas mėšlėdeje)	Planuojama situacija (BSA kompostavimo 1 alternatyva)	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.
BSA kiekis	t	687,4	<sup>1</sup> -	687,4	-	-
Dyzelinis kuras	t (l)	0,315 (375)	0,546 (650)	-0,231 (-275)	1,1 EUR/l	-302,50
Oro teršalai	t	3,8	0,27	3,53	-	-
CO	kg	3,6	49,07	-45,47	-	-
NH <sub>3</sub>	t	2,4	0,2	2,2	-	-
NMLOJ	kg	1257,1	1,93	1255,17	-	-
NO <sub>x</sub>	kg	19,5	18,81	0,69	-	-
KD	kg	96,6	0,55	96,05	-	-
ŠESD	t	200,01	6,24	193,77	-	-
CO <sub>2</sub>	t	99,71	1,74	97,97	-	-
CH <sub>4</sub>	t	93,00	2,75	90,25	-	-
N <sub>2</sub> O	t	7,30	1,75	5,55	-	-
Kompostas	t	-	<sup>1</sup> 343,7	+ 343,7	-	-

<sup>1</sup>Pastaba: įdiegus projektą bus gaminama ne atlieka, bet aukšto vertingumo kompostas

#### Alternatyvos įdiegimo aplinkosauginė nauda:

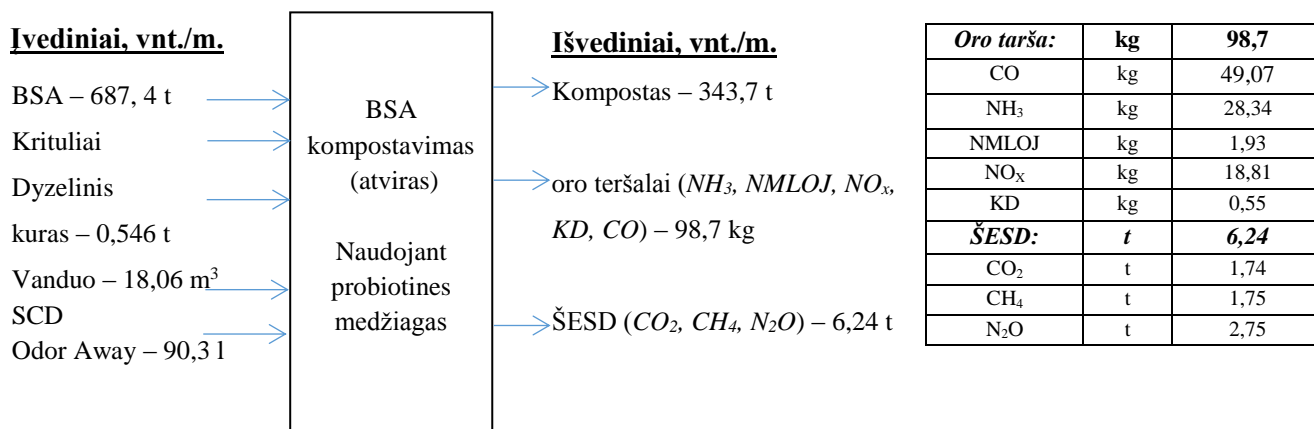
Be papildomų investicijų pradėjus kompostuoti galvijų ūkio BSA vietoj mėšlo ir srūtų laikymo mėšlėdeje (naudojant esamą infrastruktūrą ir techniką), per metus bus gaminama virš 340 t labai aukšto vertingumo komposto, be to BSA tvarkymo metu oro teršalų kiekis sumažėja 3,53 t/m. (virš 100 kg kiekvienai karvei), pagrindė – dėl NH<sub>3</sub> ir LOJ emisijų sumažėjimo; ŠESD kiekis sumažės net 193,77 t/m. (arba 5,5 t kiekvienai karvei).

Analizuojamoje alternatyvoje padidėja išlaidos dėl papildomų dyzelinio kuro sąnaudų. Šios sąnaudos priklauso nuo naudojamo traktoriaus techninių charakteristikų, amžiaus. Rėmintis literatūros šaltiniuose pateiktai informacijai, dyzelinio kuro sąnaudos kompostavimui žemės ūkyje svyruoja nuo 0,4 iki - 1 l/t BSA (Staugautis et al., 2016). Analizuojamo ūkio atveju buvo teoriškai priimta – 650 l/m. / 611,1 t/m. = 1,06 l/t BSA, t.y. šiek



tiek daugiau. Todėl galima padaryti išvadą, kad šioje alternatyvoje buvo analizuota pesimistinė prielaida, o realiai dėl kompostavimo kuro sąnaudos svyruos nuo 244,4 l iki 611,1 l/m.

### **Kompostavimo, naudojant probiotines medžiagas (mikrobiologinius preparatus), aplinkosauginis įvertinimas**



3.4 pav. Eksperimentui parinktame gyvulininkystės ūkyje susidariusių BSA siūlomo kompostavimo proceso naudojant probiotines medžiagas medžiagų ir energijos srautų balansas

#### **NH<sub>3</sub> emisijų skaičiavimas kompostuojant žemės ūkio BSA su probiotinėmis medžiagomis**

Analizuojamos NH<sub>3</sub> emisijos, kurios susidaro kompostavimo proceso pradžioje.

NH<sub>3</sub> emisijos dėl galvijų mėšlo laikymo prieš kompostavimą:  $E_{\text{NH}_3\text{-mėšlas}} = 2,315 \text{ kg/m}$ .

NH<sub>3</sub> emisijos dėl galvijų srutų laikymo prieš kompostavimą:  $E_{\text{NH}_3\text{-srutos}} = 1,158 \text{ kg/m}$ .

NH<sub>3</sub> emisijos dėl pakratų laikymo prieš kompostavimą:  $E_{\text{NH}_3\text{-pakratai}} = 0,426 \text{ kg/m}$ .

NH<sub>3</sub> ir CO emisijos dėl BSA kompostavimo vertinimas atliekamas, naudojant metodikos 2.4 lentelėje pateiktas emisijų faktorius.

Kompostuojant pakratus (kaip ŽA):  $E_{\text{NH}_3} = 50,45 \text{ kg/m}$ ;  $E_{\text{CO}} = 42,81 \text{ kg/m}$ .

Kompostuojant kitus BSA:  $E_{\text{NH}_3} = 146,66 \text{ kg/m}$ .

Bendrai kompostuojant BSA:  $E_{\text{NH}_3} = 197,11 \text{ kg/m}$ ;  $E_{\text{CO}} = 42,81 \text{ kg/m}$ .

Vykdam eksperimentą, įrodyta, kad NH<sub>3</sub> emisijų faktorius kompostavimo metu naudojant probiotines medžiagas sumažėja 87,6 proc. (žiūrėti 3.4 lentelę) todėl, žemės ūkio BSA kompostavimui naudojant probiotines priemones NH<sub>3</sub> išlakų gaunama:

$$197,11 * (1 - 0,876) = 24,44 \text{ kg/m}$$

Toliau vertinamas poveikis aplinkos orui dėl oro teršalų išskyrimo dėl dyzelinio kuro sąnaudų traktoriuje, kraunant BSA kaupus bei juos vartant 2 kartus per mėnesį. Oro teršalų emisijų faktoriai, deginant dyzelinį kurą krovinių ir kitų ne kelių transporto priemonių vidaus degimo varikliuose, pateikti tyrimo metodikos 2.5 lentelėje.

Kaip jau buvo vertinama aukščiau, ūkyje naudojamas traktorius „Zetor Utilix HT 45“ sunaudoja 3,124 l / val. dyzelinio kuro. Traktorius prie kompostavimo procesų dirbo apie 4 valandas per savaitę (iki 208 val./m.), tokiu būdu kuro sąnaudos kompostavimui sudarys 0,546 t/m.. Oro teršalų emisijos vertinamos, taikant 5 formulę:  $EF_{CO} = 6,26 \text{ kg/m.}; EF_{NH_3} = 0,004 \text{ kg/m.}; EF_{NMLOJ} = 1,93 \text{ kg/m.}; EF_{NOX} = 18,81 \text{ kg/m.}; EF_{KD} = 0,55 \text{ kg/m.}$

ŠESD kiekis nuo kompostavimo vertinamas, naudojant IPCC, 2006 metodikoje pateiktą formulę ir emisijų faktorius BSA kompostavimui:  $CH_4 = 2,75 \text{ t/m.}; N_2O = 1,75 \text{ t/m.}$

ŠESD emisijos iš mobilaus oro taršos šaltinio vertinamos, naudojant metodikoje pateiktą 7 formulę:  $E_{CO_2} = 1,74 \text{ t/m.}; E_{CH_4} = 0,09 \text{ kg/m.}; E_{N_2O} = 0,09 \text{ kg/m.};$

### 3.6 lentelė. Antros BSA kompostavimo alternatyvos aplinkosauginio efekto vertinimo rezultatas

Proceso medžiagų ir energijos srautai	vnt.	Aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI), vnt./m		(+ Sutaupoma/sumažėja (-) nesutaupoma/padidėja)		
		Esama situacija (BSA laikymas mėšlidėje)	Planuojama situacija (BSA kompostavimo 2 alternatyva)	Vnt./m.	EUR/vnt.	EUR/m.
BSA kiekis	t	687,4	<sup>1</sup> -	687,4	-	-
Dyzelinis kuras	t (l)	0,315 (375)	0,546 (650)	-0,231 (-275)	1,1 EUR/l	-320,50
<b>Oro teršalai</b>	t	3,8	0,099	3,701	-	-
CO	kg	3,6	<b>49,07</b>	-45,47	-	-
NH <sub>3</sub>	t	2,4	0,028	2,37	-	-
NMLOJ	t	1,3	0,002	1,298	-	-
NO <sub>x</sub>	kg	19,5	18,81	0,69	-	-
KD	kg	96,6	0,55	96,05	-	-
<b>ŠESD</b>	t	200,01	6,24	193,77	-	-
CO <sub>2</sub>	t	99,71	<b>1,74</b>	97,97	-	-
CH <sub>4</sub>	t	93,00	2,75	90,25	-	-
N <sub>2</sub> O	t	7,30	1,75	5,55	-	-
Probiotinės medžiagos	l	-	90,3	-90,3	13,85 EUR/l	-1250,65
Vanduo	m <sup>3</sup>	-	18,06	-18,06	(iš šulinio)	-
Kompostas	t	-	<sup>1</sup> 343,7	<sup>1</sup> +343,7	-	-

<sup>1</sup>Pastaba: įdiegus projektą bus gaminama ne atlieka, bet aukšto vertingumo kompostas

#### Antrosios alternatyvos įdiegimo aplinkosauginė nauda:

Galvijų ūkio BSA kompostavimui vietoj mėšlo ir sрутų laikymo mėšlidėje naudojant papildomas mikrobiologines medžiagas (ir esamą infrastruktūrą ir techniką), per metus bus gaminama virš 340 t labai aukšto vertingumo komposto, be to kompostavimo metu oro teršalų kiekis sumažėja net 3,701 t/m., pagrinde – dėl NH<sub>3</sub> ir LOJ emisijų sumažėjimo; ŠESD kiekis sumažės 193,77 t/m.

Vienas iš svarbiausių projekto realizavimo pasiekimų būtų kvapų sumažinimas, tai minimizuoja poveikį žmonių sveikatai dėl BSA tvarkymo biologiniu būdu.

Taip pat svarbu paminėti, kad šios alternatyvos realizavimas leistų padidinti gaminamo komposto vertingumo rodiklius, pavyzdžiui, suminio azoto (N) kiekis padidėja net 31 proc., suminio fosforo (P) – padidėja dvigubai (žr. 3.4 lentelę). Kadangi trešimo planai sudaromi būtent pagal azoto ir fosforo normas, galima daryti

išvada, kad dėl N ir P koncentracijų padidėjimo labai aikšto komposte, didesnis plotas lauku gali būti tręšiamas su tuo pačiu komposto kiekiu.

Kaip ir pirmoje analizuotoje alternatyvoje, pradėjus kompostuoti BSA, gali padidėti išlaidos dėl papildomų dyzelinio kuro sąnaudų. Šios sąnaudos priklauso nuo naudojamo traktoriaus techninių charakteristikų, amžiaus.

Taip pat įdiegiant šią alternatyvą, bus papildomų išlaidų probiotinių medžiagų įsigijimui: 35 karvių ūkiui – BSA kompostavimui bus sunaudota apie 90 litrų per metus probiotinių medžiagų; tai kainuotų apie 1,25 tūkst. EUR.

#### 4. Rekomendacijos žemės ūkio gyvulininkystės objektams dėl BSA kompostavimo

1. Rekomenduojama žemės ūkyje susidarančias BSA apdoroti biologiniu būdu, jas kompostuojant arba, visų pirma, apdorojant anaerobiškai, vėliau – kompostuojant, taip mažinant poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai. Kompostuojant gyvulininkystė ir kitus žemės ūkio BSA, gaunamas labai aukšto vertingumo kompostas. BSA biologinis apdorojimas leidžia optimaliai panaudoti žemės ūkio BSA maistines vertes.
2. Atlikus tradicinio kompostavimo eksperimentą, gauti rezultatai parodė, kad kompostavimo metu oro teršalų emisijos sumažėja 92,9 proc., o ŠESD net 96,9 proc., lyginant su BSA laikymu mėšlidėse.
3. Atlikus kompostavimo eksperimentą, naudojant papildomas probiotines medžiagas (mikrobiologinius preparatus, pvz. SCD Odor Away), gauti rezultatai dar geresni nei kompostuojant tradiciniu būdu. Šio kompostavimo metu oro teršalų emisijos sumažėja net 97,5 proc., o ŠESD – 96,9 proc., lyginant su žemės ūkio BSA laikymu mėšlidėse. Todėl rekomenduojama naudoti papildomas probiotines medžiagas, kurių dėka, labai mažinamas neigiamas poveikis aplinkai ne tik kompostavimo metu, bet ir komposto naudojimo (dėl dirvos užkrėtimo patogenine mikroflora rizikos).
4. Eksperimento metu nustatyta, kad jau po pirmos kompostavimo savaitės, naudojant papildomas mikrobiologines medžiagas, nemalonių kvapų beveik nesijaučia. Todėl ūkiams, kurie įsirengę arčiau gyvenamosios paskirties teritorijų, rekomenduojama naudoti šias mikrobiologines priemones, tikslu, visų pirma, šalinti nemalonus kvapus.
5. Nustatyta, kad kompostavimo metu naudojant mikrobiologines priemones, pirminio komposto gamyba sutrumpėja. Per 2 mėnesius pagaminamas kompostas, kuris pasižymi stabilumu, labai aukštais vertingumo rodikliais. Taip pat šiame komposte neaptinkama mikrobiologinės taršos.
6. 1 m<sup>3</sup> žemės ūkio BSA kompostui rekomenduojama naudoti 100 – 150 ml probiotinių medžiagų (pvz., SCD Odor Away), kurios praskleidžiamos vandeniui: 1 litrui medžiagos sunaudojam nuo 100 iki 200 l vandens.
7. Tikslu sumažinti poveikį aplinkai ir pagerinti technologinio proceso eigą, mėšlo kompostavimui galima naudoti medžio drožles, kurios taip pat gali susidaryti žemės ūkio objektuose. Tai leistų ne tik paspartinti procesą, bet ir sumažinti poveikį klimato kaitai dėl CO<sub>2</sub> emisijų – virš 3,4 kartų, dėl N<sub>2</sub>O – virš 2,8 kartų, dėl CH<sub>4</sub> – 173 kartus.

## Išvados

1. Lietuvos žemės ūkio BSA valdymo sistemos analizės rezultatai parodė, kad dažniausiai šios atliekos yra neapdorojamos, o tiesiog laikomos mėšlidėse ir naudojamos laukų tręšimui. Identifikuota problema: laukų tręšimui dažnai naudojami biologiniu būdu neapdorotos BSA, tai kelia didelį poveikį aplinkai dėl oro teršalų, ŠESD, dirvos užkrėtimo patogenine mikroflora, piktžolių sėklomis rizikos.
2. Atlikus analizę naujausių mokslinių žemės ūkio BSA tvarkymo metodų optimizavimo srityje, nustatyta, kad norint sumažinti poveikį aplinkai ir žmonių sveikatai, susidarančios žemės ūkio BSA turi būti biologiškai apdorojamos: kompostuojamos arba fermentuojamos, išgaunant bio-dujas ir gaminti kompostą iš raugo. Taip yra nemažai būdų sumažinti šių biologinių procesų poveikį aplinkai dėl proceso trukmės, oro teršalų, kvapų sumažėjimo ir gaminamų produktų kokybės parametrų padidėjimo. Vienas iš šių metodų – probiotinių medžiagų (mikrobiologinių preparatų) naudojimas.
3. Eksperimentui pasirinktame objekte (standartiniame galvijų ūkyje), kuriame 35 karvės laikomos saitininiu būdu, įvertintas esamas susidarančių BSA kiekis (iki 688 t/m.). Nustatyta, kad BSA laikant mėšlidėje ir tręšiant laukus, į aplinkos orą patenka iki 3,8 t/m. oro teršalų (pagrinde - NH<sub>3</sub>, NMLOJ), ir virš 200 t/m. ŠESD (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).
4. Atlikus kompostavimo eksperimentą, (1) taikant tradicinį būdą ir (2) naudojant probiotines medžiagas (SCD Odor Away), nustatyta, kad, mikrobiologinių preparatų naudojimas sumažina NH<sub>3</sub> emisijas iki 88 %, palyginti su pirmuoju kompostavimo metodu, suminio azoto (N) kiekis padidėja 31%, suminio fosforo (P) kiekis padidėja 2 kartus, suminio kalio (K) kiekis 19,2 % didesnis nei kompostuojant natūraliomis sąlygomis. Pagaminti kompostai pasižymi labai aukštu vertingumu kaip trąša.
5. Tyrimo metu atlikta abiejų kompostavimo alternatyvų įvykdomumo analizė, kurios rezultatai parodė, kad, esamos ūkio infrastruktūros ir technikos pilnai pakaktų, todėl šių alternatyvų įgyvendinimas papildomų investicijų nereikalaus. Taikant pirmąją alternatyvą, oro tarša sumažėja 92,2%, palyginti su tarša, kuri susidaro žemės ūkio BSA laikant mėšlidėje, antros alternatyvos atveju sumažėja – 97,8 %, ŠESD emisijos – 96,9 %. Tačiau antrosios alternatyvos pritaikymui reikalingos 1,25 tūkstančių eurų per metus išlaidos probiotinėms medžiagoms įsigyti.
6. Darbe pateiktos rekomendacijos žemės ūkio objektams tvarkyti susidarančias BSA, jas apdorojant aerobiniu būdu (kompostuojant) ir, tikslu mažinti poveikį aplinkai dėl oro teršalų, kvapų, ŠESD, mikrobiologinės taršos ir gaminti aukštesnio vertingumo kompostą, naudoti probiotines medžiagas.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Amlinger, F. Peyr, S. & Cuhls, C., 2008. Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. *Waste Management and Research*, 26, 47-60;
- Boldrin, A., Andersen, J.K., Moller, J., Christensen, T.H., Favoino, E. 2009. Compost and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management and Research*. No. 27, 800-812;
- Budrys R. Išlakos gyvulininkystėje ir paukštininkystėje, bei jų eliminavimo galimybės. Konferencijos „LIFE finansavimas oro taršos valdymui žemės ūkyje“ pranešimo medžiaga. Vilnius, 2018 m. balandžio 16.
- Brazas, A. ir kt. *Reikalavimai kompostavimui ir kompostui*. Užsakomojo darbo ataskaita. – Vilnius: Aplinkos ministerija, „Ekoprojektas“, „Atliekų tvarkymo konsultantai“, 2012. – 83 p.
- Conrad Stralka Lotta Samuelson. Mėšlo tvarkymo geroji praktika - intensyvus kiaulių auginimas Baltijos jūros regiono šalyse ES narėse. Stokholmas 2010.
- Daniliauskas K. Temperatūros įtakos anaerobinio proceso rodikliams tyrimas. Magistrantūros baigiamasis darbas. Aleksandro Stulginskio universitetas, Akademija, 2015.
- Gedminas, A., Ozolinčius, R. Ozonas - miško draugas ar priešas? Lietuvos miškų institutas. 2007.
- Kantminas J. Kondrotas A. Gyvulininkystės fermų mechanizavimas. Vilnius, 1969, p. 393.
- Kliopova, I., Stanevičiūtė, K. 2013. Evaluation of Green Waste Composting Possibilities. *Environmental research, engineering and management* 3(65); 6-19.
- Kliopova, I., 2016. Integrated Waste Management System for Resort Town. *Environmental research, engineering and management*. 2 (72), 31-55.
- Komunalinio ūkio ir paslaugų departamento prie Lietuvos statybos ir urbanistikos ministerijos direktoriaus 1997 m. gruodžio 16 d. įsakymas Nr. 66 „Dėl Rekomendacijų organinių atliekų kompostavimui patvirtinimo“// Valstybės žinios, 1998-01-21, Nr. 7-160.
- Naujokienė V. Karvidės mėšlo tvarkymo inžinerinių konstrukcijų įtaka aplinkos oro taršai. Magistrantūros baigiamasis darbas. Lietuvos žemės ūkio akademija. 2011.
- Pekarskas J. Aleksandro Stulginskio universitetas. Galvijų mėšlo perdirbimas į granuluotas organines trąšas, jų įtaka augalams ir dirvožemio savybėms. Mokslinės rekomendacijos. 2016 – 14 p.
- Ribikauskas V., Vaičionis G. Mėsinio tipo galvijų tvartų mikroklimato įvertinimas // Gyvulininkystė: mokslo darbai, 2004, Nr. 44, p. 63-75.

Ruirui Chen, Yiming Wang, Wei Wang, Shiping Wei, Zhongwang Jing, Xiangui Lin, 2015. N<sub>2</sub>O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure. *Journal of Environmental Management*, 160 121-127;

Staniškis, J.K., Stasiškienė Ž., Kliopova I., 2002. Švaresnė gamyba: sisteminis požiūris. Monografija. Technologija, P. - 365.

Staniškis, J.K., Stasiškienė Ž., Kliopova I., Varžinskas, V. 2010. Darniosios inovacijos Lietuvos pramonėje: kūrimas ir diegimas. Monografija. Technologija. P - 458.

Staniškis K. J., Kliopova I., Miliūtė- Plepienė J., Kruopienė J., Kliaugaitė D., Uselytė R., Varžinskas V., 2017. Darni atliekų vadyba. Mokslo monografija. IV skyrius: Kliopova I., Komunalinių biologiškai skaidžių atliekų vadyba, p.143-273.

Staugaitis, G., Kliopova, K., Mažeika, R., Gvildienė, K., Jurovickaja, E., 2016. Reikalavimų (kriterijų) iš biologiškai skaidžių atliekų pagamintiems produktams rengimas. Mokslinio tiriamojo darbo galutinė ataskaita. Užsakovas - Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija (2015-10-29 sutartis Nr. VPS-2015-131-KKSP). Rangovai: LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorija, UAB „EcoIri Solution“. P - 131. Prieiga internete: [https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/0\\_184367001489675205.pdf](https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/0_184367001489675205.pdf)

Staugaitis G., Mažeika R., Antanaitis A., Antanaitis Š., 2011. Taikomojo mokslinio tyrimo „Komposto, naudojamo žemės ūkyje, kokybės reikalavimų analizė ir įvertinimas“ ataskaita. Užsakovas – LR Žemės ūkio ministerija. Rangovas - Lietuvos agrarinių ir miškų mokslo centro agrocheminių tyrimų laboratorija. Kaunas. P – 83. Prieiga internete:

[https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT\\_versija/Veiklos\\_sritys/Mokslas\\_mokymas\\_ir\\_konsultavimas/Moksliniu\\_tyrimu\\_ir\\_taikomosios\\_veiklos\\_darbu\\_galutines\\_ataskaitos/0darbasKompostootaskaita2011.pdf](https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Mokslas_mokymas_ir_konsultavimas/Moksliniu_tyrimu_ir_taikomosios_veiklos_darbu_galutines_ataskaitos/0darbasKompostootaskaita2011.pdf)

Strusevičius Z. Nuotekų, atliekų ir mėšlo tvarkymas žemės ūkyje. Kėdainiai: Lietuvos vandens ūkio institutas, Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba. 1996, P. 157.

Su Lin Lim, Leong Hwee Lee, Ta Yeong Wu, 2016. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262-278;

Šileika A. Mėšlidžių statyba įgyvendinant Europos Sąjungos nitrato direktyvą 91/676-EEB. Kėdainiai: „Rinkos aikštė“. 2001, p. 56.

Šileika A. LR žemės ūkio ministerija. Pažangaus ūkininkavimo taisyklės ir patarimai. Antrasis pataisytas ir papildytas leidimas. 2007 – 36 p.

Vaičionis G. Ūkiuose sukaupiamo mėšlo ir srutų kiekio apskaičiavimas. 2013. [žiūrėta 2019-02-25] prieiga per internetą: <http://www.pienoukis.lt/ukiuose-sukaupiamo-meslo-ir-srutu-kiekio-apskaiciavimas/>

Weiland P. Biogas production: current state and perspectives. *Appl Microbiol Biotechnol* (2010) 85, p.849–860.

## Teisės aktai ir kiti informaciniai šaltiniai:

1. LR aplinkos ministro 2007-05-10 įsakymas Nr. V-362 „Dėl Lietuvos higienos normos HN 35:2007 „Didžiausia leidžiama cheminių medžiagų (teršalų) koncentracija gyvenamosios aplinkos ore“ patvirtinimo“ (Žin., 2007, Nr. 55-2162) [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-01]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.297779/asr>
2. LR aplinkos ministro 2005-07-01 įsakymas Nr. D1-338 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.02.09:2005 „Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai“ patvirtinimo (Žin., 2005, Nr. 93-3464; 2010, Nr. 60-2976) [interaktyvus] [žiūrėta 2019-03-15]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.260205/asr>
3. LR SAM 2002-12-24 Įs. Nr.678 „Gyvūninių atliekų tvarkymo taisyklės“ (Žin., 2002, Nr. 95-4083) [interaktyvus] [žiūrėta 2019-04-02]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.201858?jfwid=-x5bl5tafr>
4. LR Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos 2012-01-20 Įs. Nr. B1-45 „Šalutinių gyvūninių produktų ir jų gaminių tvarkymo ir apskaitos reikalavimai“ (Žin., 1992, Nr. 2-15) [interaktyvus] [žiūrėta 2019-01-17]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.253118?positionInSearchResults=2&searchModelUUID=828129e3-2a1c-4186-b662-8dbc90e9841a>
5. LR Valstybinės maisto ir veterinarijos tarnybos taisyklės 2006-05-22, Įs. Nr. B1-352 „Taisyklės dėl šalutinių gyvūninių produktų ir perdirbtų šalutinių gyvūninių produktų, skirtų pašarų gamybai ir gyvūnų šėrimui, gamybos, tiekimo rinkai ir naudojimo“. (Žin., 1992, Nr. 2-15). [interaktyvus] [žiūrėta: 2019-02-20].
6. LR 2016-03-14 įsakymas Nr. D1-186 „Biologiškai skaidžių atliekų kompostavimo, anaerobinio apdorojimo aplinkosauginiai reikalavimai“. (Žin. 2007, Nr. 23-902) [interaktyvus] [žiūrėta: 2019-03-25]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.292658/asr>
7. LR 2012-09-26 įsakymas Nr. D1-778 „Reikalavimai techninio komposto, techninio raugo ir stabilato kokybei ir naudojimui“. (Žin., 1998, Nr. 61-1726; 2002, Nr. 72-3016) [interaktyvus] [žiūrėta: 2019-04-12]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.434017>
8. LR aplinkos ministro ir LR žemės ūkio ministro 2005-07-14 įsakyme nr. D1-367/3D-342 „Dėl mėšlo ir srūtų tvarkymo aplinkosaugos reikalavimų aprašo patvirtinimo“ (Žin., 2005 Nr. 92-3434; 2012 Nr. 134-6849; TAR 2014 Nr. 00042, 2018 Nr. 05764).
9. Vandenilio sulfidas. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-02-10]. Prieiga per internetą: [https://lt.wikipedia.org/wiki/Vandenilio\\_sulfidas](https://lt.wikipedia.org/wiki/Vandenilio_sulfidas)
10. Aplinkos oro kokybės vertinimo vadovas. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-02-10]. Prieiga per internetą: [http://gamta.lt/files/Aplinkos\\_oro\\_kokybes\\_vertinimo\\_vadovas.pdf](http://gamta.lt/files/Aplinkos_oro_kokybes_vertinimo_vadovas.pdf)
11. Rūgštieji lietūs, [interaktyvus] [žiūrėta 2019-02-10]. Prieiga per internetą: [https://lt.wikipedia.org/wiki/R%C5%ABg%C5%A1tusiai\\_lietus](https://lt.wikipedia.org/wiki/R%C5%ABg%C5%A1tusiai_lietus)
12. Darnus vystymasis. [interaktyvus] [žiūrėta 2019-03-10]. Prieiga per internetą:



- <http://www.darnusvystymasis.gpf.lt/lt/siltnamio-efekta-sukeliancios-dujos>
13. AIVIKS.[interaktyvus] [žiūrėta 2019-01-17]. Prieigos per internetą:  
<https://aplinka.lt/lakus-organiniai-junginiai>  
<https://aplinka.lt/co2-anglies-dioksidai>  
<https://aplinka.lt/ch4-metanas>  
<https://lt.wikipedia.org/wiki/Amoniakas>
  14. Staugaitis G., Mažeika R. Kompostas: žaliavos, kokybė, naudojimas. Mano ūkis. 2011. Prieiga per internetą: <http://www.manoukis.lt/mano-ukis-zurnalas/2011/11/kompostas-zaliavos-kokybe-naudojimas/>
  15. Oficialios statistikos portalas. Atliekų statistika, 2017 [žiūrėta 2019-03-02]. Prieiga per internetą: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics/lt](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/lt)
  16. Vaclovas Girdvainis, 2009. Kraikinio ir skysto mėšlo privalumai:  
<https://www.delfi.lt/verslas/kaimas/kraikinio-ir-skysto-meslo-privalumai.d?id=20324782>
  17. Lietuvos žemės ūkio konsultavimo tarnyba. Mėšlo ir nuotėkų tvarkymas Kėdainių raj., Akademija. 2003, p. 91-108.
  18. EEA/CORINAIR Oro teršalų inventorizacijos vadovas (*Angl.* - Air pollutant emission inventory guidebook). Prieiga per internetą: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>.
  19. Miško sanitarinės apsaugos tarnyba. Komposto paruošimas patarimai. 2009 – 6 p. Prieiga per internetą: <http://www.amvmt.lt/Images/Veikla/MSAT/Patarimai/Kompostas.pdf>
  20. LR sveikatos apsaugos ministro ir socialinės apsaugos darbo ministro 2011 m. rugsėjo 1 d. įsakymu Nr. V-824/A1-389 patvirtinta HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“ (Žin., 2001 Nr. 112-5274; TAR 2018 Nr. 09988) [interaktyvus] [žiūrėta: 2019-05-23].
  21. LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorija [interaktyvus] [žiūrėta: 2019-05-23]. Prieiga per internetą: <http://agrolab.lt>.
  22. LR žemės ūkio ministerija. Specialių probiotinių kompozicijų biologiškai skaidžių atliekų (BSA) (mėšlo ir srutų) tvarkymui naudojimo rekomendacijos. Kaunas, 2013. Nr. 1PM-PV-11-1-006991-PR001

## Priedai

### 1 priedas. Mažiausi leistini sanitariniai atstumai tarp statinių atsižvelgiant į jų paskirtį

Statybos techninio reglamento STR 2.02.09:2005  
„Vienbučiai ir dvibučiai gyvenamieji pastatai“ 2 priedas

Statinio pavadinimas ir jo santrumpa	NŪP	AS	Š	T	M	NKR	VNV	ASKR	PSKR	ŠŠ
Namas – N	n	n	n	10	15	10	8	7	1	5
Namų ūkio pastatas – NŪP	–	n	n	n	1,5	n	n	n	n	5
Automobilių saugykla – AS	n	–	n	n	1,5	n	n	n	n	10
Šiltnamiai – Š	n	n	–	n	1,5	3	3	5	3	10
Tvartai –T	n	n	n	–	n	n	n	5	3	15
<b>Mėšlidė, kompostavimo aikštelė – M</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>n</b>	<b>–</b>	<b>n</b>	<b>n</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>20</b>
Nuotekų kaupimo rezervuaras, lauko tualetas – NKR	n	n	3	n	n	–	n	n	n	15
Vietinė nuotekų valykla –VNV	n	n	3	n	n	n	–	5	3	15
Antžeminis skysto kuro rezervuaras – ASKR	n	n	5	5	5	n	5	–	n	15
Požeminis skysto kuro rezervuaras – PSKR	n	n	3	3	3	n	3	n	–	15
Šachtinis šulinys – ŠŠ	5	10	10	15	20	15	15	15	15	–

Pastabos:

1. n – nenormuojama.

2. Jei šioje lentelėje pateikti leistini mažiausi sanitariniai atstumai yra mažesni už mažiausius leistinus priešgaisrinius atstumus (kai jie normuojami), turi būti taikomi Gaisrinės saugos pagrindiniuose reikalavimuose, nustatyti priešgaisriniai atstumai.